

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
tese será disponibilizado
somente a partir de 28/02/2027.



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Biociências – Câmpus de Botucatu

Programa de Pós-graduação em Biometria



**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE TUBERCULOSE NO MUNICÍPIO DE
TERESINA (PI): UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE OS ANOS
DE 2001 A 2022**

CARLA PATRÍCIA DE CARVALHO OLIVEIRA

Botucatu
2025

CARLA PATRÍCIA DE CARVALHO OLIVEIRA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE TUBERCULOSE NO MUNICÍPIO DE
TERESINA (PI): UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE OS ANOS
DE 2001 A 2022**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Programa de Pós-graduação em Biometria da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Doutor em Biometria.

Orientador: Profa. Dra. Liciane Vaz de Arruda Silveira

Coorientador: Prof. Dr. Viriato Campelo

Botucatu - SP

O48a

Oliveira, Carla Patrícia de Carvalho

Análise da evolução de tuberculose no município de Teresina (PI): uma análise espaço-temporal entre os anos de 2001 a 2022 / Carla Patrícia de Carvalho Oliveira. -- Botucatu, 2025

163 p. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientadora: Liciane Vaz de Arruda Silveira

Coorientadora: Viriato Campelo

1. Tuberculose. 2. Distribuição espaço-temporal. 3. Incidência. 4. INLA. 5. GAM. I. Título.

CARLA PATRÍCIA DE CARVALHO OLIVEIRA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE TUBERCULOSE NO MUNICÍPIO DE
TERESINA (PI): UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE OS ANOS
DE 2001 A 2022**

Tese de Doutorado defendida e aprovada em Botucatu-SP, no dia 28 de fevereiro, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profa. Dra. Liciane Vaz de Arruda Silveira
Orientador

Profa. Dra. Lidia Raquel de Carvalho
Examinador

Prof. Dr. José Silvio Govone
Examinador

Prof. Dr. Renato Ferreira da Cruz
Examinador

Prof. Dr. Antônio de Deus Filho
Examinador

Dedico este trabalho com todo amor à Deus, aos meus pais Maria da Cruz e Pedro Ferreira (in memoriam), aos meus dois afilhados e sobrinhos Pedro Gabriel e Maria Ísis (amores da minha vida), aos meus irmãos e aos meus professores que ajudaram-me chegar até aqui.

Agradecimentos

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, especialmente nos momentos mais difíceis, por me presentear com uma família linda, repleta de muito amor e carinho, pessoas tão generosas que me enchem de orgulho. Sinto-me privilegiada por fazer parte dessa família e, acima de tudo, por saber que sempre posso contar, pois são o meu porto seguro.

À minha família, especialmente à minha querida e amada “Mãe”, Maria da Cruz Pereira de Carvalho, e ao meu eterno amado “Pai”, Pedro Ferreira de Oliveira (*in memoriam*) que, mesmo não estando presente fisicamente, sempre habitará meus pensamentos e permanecerá vivo dentro do meu coração. Dedico essa conquista aos meus pais, que, em todos os momentos, seguiram com retidão, sendo pra mim exemplos de caráter ilibado, dignidade, força e determinação. Com humildade e muito amor ao próximo, sempre lutaram e se dedicaram a nos ensinar que nada vem sem sacrifícios, e que do nosso crescimento pessoal. Sempre nos mostraram que devemos buscar nossos objetivos perseverança e coragem, confiando, acima de tudo no apoio de Deus.

Aos meus irmãos: Ursilândia de Carvalho Oliveira (comadre), Pedro Ferreira de Oliveira Filho (compadre) e ao meu grande amor (irmão-caçula e afilhado) Ronnyelson de Carvalho Oliveira. Com a mesma intensidade de amor, dedico esse momento especial aos meus dois sobrinhos-afilhados: Pedro Gabriel de Carvalho Oliveira (o grande amor da dinda!), cujo amor cresce a cada dia, e Maria Ísis (a minha princesa linda!). Também agradeço minha cunhada e comadre, Ângela Cristina, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu noivo, Alcino, por sua paciência e compreensão ao longo dessa jornada. Obrigada amor, pelo carinho, pela atenção e por ser o meu porto seguro nos momentos que mais precisei.

À minha orientadora, Profa. Dra. Liciania Vaz de Arruda Silveira, pela dedicação, pelo tratamento gentil e cortês, por estar sempre solícita quando mais precisei, pela confiança e pelos ensinamentos transmitidos de forma muito generosa e com grande profissionalismo. Agradeço especialmente pelas palavras afáveis e confortantes, que sempre chegaram no momento e na medida certa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Viriato Campelo, por todas as contribuições e sugestões que foram fundamentais para a finalização deste trabalho.

A todos os meus colegas da Pós-graduação.

Aos meus professores da Pós-Graduação, grandes profissionais que sempre se preocuparam em transmitir seus conhecimentos de forma clara e motivadora, incentivando-nos a buscar com dedicação e excelência. Agradeço de forma especial aos professores: Dr. Rogério Antonio Oliveira e Dra. Luzia Aparecida Trinca.

Ao coordenador do programa, Prof. Dr. Paulo Fernando de Arruda Mancera, pelo incentivo

e competência, aliados à sua maneira sempre gentil de estar pronto para atender.

Ao vice-coordenador, Prof. Dr. Fernando Luiz Pio dos Santos.

Aos secretários da Biometria, Luiz Nishida e Arthur Bestana Bentivenha, sempre muito atenciosos e dispostos a ajudar.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, que, durante esses quarenta e oito meses, proporcionou-me um novo olhar, mais crítico, criterioso e perfeccionista, não apenas para a minha vida profissional, mas também para minha vida pessoal. Mostrou-me que, independente da área de atuação, quando trabalhamos juntos, em equipe, podemos transformar tudo ao nosso redor. E, se nos dedicarmos com disciplina, esforço e perseverança, além de realizarmos nossos sonhos, podemos contribuir para transformar o mundo e, quem sabe, torná-lo um lugar melhor.

“ Aos outros, dou o direito de ser como são. A mim, dou o dever de ser cada dia melhor.”
(Chico Xavier).

Resumo

A tuberculose (TB) é uma doença infecciosa crônica causada por espécies do Complexo *Mycobacterium tuberculosis*. Está entre as doenças transmissíveis de maior mortalidade e afeta prioritariamente os pulmões, embora possa acometer outros órgãos na sua forma extrapulmonar. No estado do Piauí, entre 2010 e 2018, foram registrados 4.521 casos em Teresina, que se destacou como a cidade com a maior incidência de tuberculose no estado, acima da média nacional, o que justifica a realização deste estudo. O principal objetivo desta tese foi analisar a distribuição espacial e temporal da incidência de tuberculose no município de Teresina, Piauí, entre 2001 e 2022. Para isso foram utilizados modelos espaço-temporais em duas abordagens: a Bayesiana, com o algoritmo INLA (Integrated Nested Laplace Approximations), e a frequentista, com modelos aditivos generalizados (GAM). A análise bayesiana, por meio do INLA, demonstrou melhor desempenho devido sua capacidade de modelar de forma precisa as heterogeneidades espaciais e temporais, incorporando a estrutura espacial e a dependência temporal, além de permitir uma estimativa robusta dos parâmetros. A abordagem frequentista foi eficaz ao lidar com os efeitos não lineares das covariáveis, possibilitando a modelagem de relações complexas entre as variáveis espaciais e temporais. Entretanto, essa abordagem não capturou a estrutura espacial da mesma forma que o INLA, mas permitiu detectar padrões não lineares e tendências temporais. Ao comparar as abordagens Bayesiana e frequentista, observou-se que o INLA foi selecionado mesmo na ausência de significância estatística das covariáveis tradicionais, devido à sua flexibilidade metodológica e capacidade de fornecer um panorama detalhado da distribuição espaço-temporal da tuberculose. Esse modelo possibilita o mapeamento espaço-temporal de áreas de maior risco, contribuindo para a tomada de decisões relacionadas às ações de prevenção, controle e fortalecimento das estratégias de saúde pública. As conclusões deste estudo reforçam a importância do uso de modelos espaço-temporais na implementação de políticas públicas eficazes para o controle da tuberculose em Teresina.

Palavras-chave: Tuberculose, distribuição espaço-temporal, incidência, INLA, GAM.

Abstract

Tuberculosis (TB) is a chronic infectious disease caused by species of the *Mycobacterium tuberculosis* Complex. It is among the communicable diseases with the highest mortality rates, it is an infectious and transmissible disease that primarily affects the lungs, although it can affect other organs (extrapulmonary form). In the State of Piauí, between 2010 and 2018, 4,521 cases were registered in Teresina, standing out as the city with the highest incidence of tuberculosis in the state, above the national average, which justifies this study. The main objective of this thesis was to analyze the distribution in space and time of the incidence of tuberculosis in the municipality of Teresina, Piauí, between 2001 and 2022. In the modeling, spatio-temporal models were used in two approaches: the Bayesian approach, with the INLA algorithm (Integrated Nested Laplace Approximations), and the frequentist, with generalized additive models (GAM). Bayesian analysis, through INLA, demonstrated better performance due to its ability to accurately model spatial and temporal heterogeneities, incorporating spatial structure and temporal dependence, in addition to allowing a robust estimation of parameters. The frequentist approach was effective in dealing with the non-linear effects of covariates, enabling the modeling of complex relationships between spatial and temporal variables. However, this approach did not capture the spatial structure in the same way as INLA, however it allowed the detection of non-linear patterns and temporal trends. When comparing the Bayesian and frequentist approaches, it is observed that INLA was selected, even in the absence of significance of traditional covariates, due to its methodological flexibility and ability to provide an accurate overview detailing the spatio-temporal distribution of tuberculosis. This model allows for the spatio-temporal mapping of areas at greatest risk, contributing to decision-making related to prevention, control and strengthening health strategies. The conclusions of this study reinforce the importance of using spatio-temporal models in the implementation of effective public policies for tuberculosis control in Teresina.

Keywords: Tuberculosis, spatiotemporal distribution, incidence, INLA, GAM.

Lista de figuras

Figura 1 – Distribuição Global da Tuberculose. Disponível em < https://www.who.int/publications/i/item/9789240101531 >	5
Figura 2 – Modelos AR(1) simulados	23
Figura 3 – Representação simbólica do modelo de efeito principal. Os círculos indicam a independência a priori, enquanto os arredondados indicam a dependência a priori. Os pequenos pontos (azuis) representam as observações ao longo do espaço e tempo (Cruz, 2022).	32
Figura 4 – Interação do Tipo I (Cruz, 2022).	33
Figura 5 – Interação do Tipo II (Cruz, 2022).	34
Figura 6 – Interação do Tipo III (Cruz, 2022).	35
Figura 7 – Interação do Tipo IV (Cruz, 2022).	37
Figura 8 – Mapa do município de Teresina (PI) por bairros. Disponível em < https://semplan.pmt.pi.gov.br/teresina-em-bairros/ >	39
Figura 9 – Número de casos confirmados de tuberculose no município de Teresina (PI), 2001-2022.	90
Figura 10 – Distribuição espacial da incidência de tuberculose (por 100 mil habitantes) por área no município de Teresina (PI), 2001-2022.	91
Figura 11 – Tendência temporal a posteriori de casos de tuberculose no município de Teresina (2001-2022): efeito temporal não estruturado $\exp(\gamma_t)$, efeito temporal estruturado $\exp(\phi_t)$ e efeito temporal total $\exp(\phi_t + \gamma_t)$	97
Figura 12 – Médias a posterioris dos RRs espaço-temporais para TB no município de Teresina (PI) no período de 2001 a 2022.	98
Figura 13 – Probabilidades a posteriori dos RRs no município de Teresina (PI) no período de 2001 a 2022.	99
Figura 14 – Estimativas do efeito temporal para TB no município de Teresina (PI) no período de 2001 a 2022. A linha contínua é o valor predito da média em função do tempo. As linhas tracejadas superior e inferior são o intervalo de confiança de 95%.	103
Figura 15 – Razão de incidência padronizada (y_{it}/E_{it}) no município de Teresina no período de 2001 a 2022.	129
Figura 16 – (1) Valores ajustados versus valores observados dos casos notificados de tuberculose no município de Teresina no período de 2001 a 2022. (2) Histograma dos valores de PIT ajustados.	130
Figura 17 – Resíduos padronizados por áreas no município de Teresina no período de 2001 a 2022.	130

Figura 18 – Gráfico da densidade a posteriori das estimativas de efeito fixo em médias logarítmicas do modelo final.	131
Figura 19 – Estimativas dos riscos relativos espaço-temporais para TB no município de Teresina no período de 2001 a 2022.	132
Figura 20 – Resíduos padronizados por áreas no município de Teresina no período de 2001 a 2022.	133

Lista de tabelas

Tabela 1	– Tipos de interações: parâmetros e classificação de K_{δ} .	32
Tabela 2	– Avaliação da multicolinearidade para as variáveis socioeconômicas.	86
Tabela 3	– Estatísticas descritivas para o número de casos de TB no município de Teresina (2001-2022).	90
Tabela 4	– Resumo da taxa de incidência (por 100 mil habitantes) de TB no município de Teresina (PI), 2001-2022.	92
Tabela 5	– Comparação dos 36 modelos espaço-temporais ajustados para os casos de TB no município de Teresina considerando a distribuição de Poisson.	93
Tabela 6	– Comparação dos 36 modelos espaço-temporais ajustados para os casos de TB no município de Teresina considerando a distribuição Binomial Negativa.	94
Tabela 7	– Estimativas a posterioris dos riscos relativos dos efeitos fixos e aleatórios e intervalos de credibilidade de 95% para ocorrência de TB no modelo de Poisson espaço-temporal (P13), município de Teresina (2001- 2022).	96
Tabela 8	– Análise de autocorrelação espacial residual anual para o modelo selecionado.	100
Tabela 9	– Modelos ajustados, critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), logaritmo da verossimilhança marginal restrita (REML), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), erro absoluto médio (MAE), coeficiente de determinação (R^2) e deviance explicada (DE).	102
Tabela 10	– Estimativas dos efeitos fixos e termos suavizados com intervalos de confiança de 95% para ocorrência de tuberculose no modelo espaço-temporal de Poisson após seleção de covariáveis, no município de Teresina (PI)(2001-2022).	102
Tabela 11	– Resultados da análise dos efeitos aleatórios para os suavizadores espacial e temporal no modelo GAM final.	103
Tabela 12	– Análise de autocorrelação espacial residual anual para o modelo selecionado.	104
Tabela 13	– Critério para escolha do melhor modelo entre o INLA e o GAM.	105

Lista de abreviaturas e siglas

AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
AIDS	<i>Acquired immunodeficiency syndrome</i>
$AR_{(p)}$	<i>Autoregressive Model of Order p</i>
BCG	<i>Bacilo de Calmette e Guérin</i>
BIC	<i>Bayesian Information Criterion</i>
BYM	Besag, York e Mollié
CAR	<i>Conditional Predictive Ordinate</i>
COVID-19	<i>Doença por coronavírus 2019</i>
DIC	<i>Deviance Information Criterion</i>
DOTS	Directly Observed Treatment Short
FMS	Fundação Municipal de Saúde
GAM	<i>Generalized Additive Models</i>
GLM	<i>Generalized Linear Models</i>
GRMF	<i>Gauss-Markov Random Field</i>
HIV	<i>Human Immunodeficiency Virus</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAR	<i>Intrinsic Conditional Auto-Regressive</i>
IGRA	Ensaio de Liberação de Interferon-gama
INLA	<i>Integrated Nested Laplace Approximations</i>
LMPL	<i>Logarithm Of The Pseudomarginal Likelihood</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MCMC	<i>Markov Chain Monte Carlo</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde

PIT	<i>Probability Integral Transformation</i>
PVHIV	Pessoas Vivendo com HIV
PNCT	Programa Nacional de Controle da Tuberculose
PT	Prova Tuberculínica
REML	<i>Restricted Maximum Likelihood</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RR	Risco Relativo
RW1	<i>Random Walk Model Of Order 1</i>
RW2	<i>Random Walk Model Of Order 2</i>
SIR	<i>Standardized Incidence Ratio</i>
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
SUS	Sistema Único de Saúde
TB	Tuberculose
TBMR	Tuberculose Multirresistente
TDO	Tratamento Diretamente Observado
TPT	Tratamento Preventivo da Tuberculose
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>
WAIC	<i>Watanabe-Akaike Information Criterion</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Tuberculose	3
2.2	Inferência Bayesiana	7
2.3	Mapeamento de doenças	8
2.4	Modelos lineares generalizados	9
2.5	Modelos aditivos generalizados	12
2.6	Método de estimação INLA (<i>Integrated Nested Laplace Approximation</i>) .	15
2.7	Dados espaciais	17
2.8	Campos aleatórios gaussianos	18
2.9	Campos aleatórios gaussianos markovianos	18
2.10	Modelos autorregressivos	20
2.10.1	O modelo AR(1)	20
2.11	Modelos autorregressivos condicionais (CAR)	23
2.12	Modelos bayesianos para a variação espaço-temporal	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Dados	38
4	RESULTADOS	41
4.1	Artigo 1	42
4.2	Artigo 2	62
4.3	Artigo 3	80
5	CONCLUSÃO GERAL	109
	Referências	110
	Apêndices	124
	APÊNDICE A – TEOREMA DA FATORAÇÃO	125
	APÊNDICE B – MATRIZ INVERSA GENERALIZADA DE MOORE- PENROSE Q^-	127

APÊNDICE C – PRODUTO DE KRONECHER	128
APÊNDICE D – INLA	129
APÊNDICE E – GAM	132
 Anexos	 134
ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA SECRETARIA ESTADUAL DO ESTADO DO PIAUÍ (SE- SAPI)	135
ANEXO B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UFPI	137
ANEXO C – FICHA DE INVESTIGAÇÃO EPIDEMIOLÓGICA DE TUBERCULOSE	139
ANEXO D – DICIONÁRIO DE DADOS	141

1 Introdução

A tuberculose permanece como um grave problema de saúde pública no Brasil. Todavia, trata-se de uma doença que possui tratamento e é curável. Globalmente, estima-se que aproximadamente 2 bilhões de pessoas estejam infectadas pelo *Mycobacterium tuberculosis*, sendo diversos os fatores que contribuem para sua transmissibilidade e agravamento, como pobreza, alcoolismo, desnutrição, coinfeção com HIV, tabagismo, diabetes e uso de drogas ilícitas, dentre outros (Organization, 2021; Maciel; al., 2019). Ressalta-se que os elevados índices de tuberculose no Brasil, sobretudo nos grandes centros urbanos, decorrem da precariedade das condições de vida, provocadas principalmente pelas desigualdades socioeconômicas. Em Teresina, os casos diagnosticados da doença ultrapassaram a média nacional de incidência nos últimos anos (Leal et al., 2020). Destaca-se ainda que, embora a meta de detecção da tuberculose no Brasil venha sendo cumprida e até superada, a meta de cura não tem sido alcançada, principalmente devido ao aumento significativo das taxas de abandono do tratamento.

A infecção latente por tuberculose (ILTB) ocorre quando um indivíduo é infectado pelo bacilo de Koch, porém sem manifestação clínica da doença. Segundo a (Organization et al., 2021), estima-se que um quarto da população mundial tenha sido infectada por esse agente, e que cerca de 5% a 10% dessas pessoas desenvolverão a tuberculose (TB) ativa. Conforme Campelo et al. (2024) indivíduos com ILTB podem evoluir para a forma ativa da doença ao longo da vida, sendo que as pessoas vivendo com HIV (PVHIV) apresentam um risco aumentado de 20 a 100 vezes (Saunders et al., 2017; Acuña-Villaorduña et al., 2018; Organization et al., 2022b; Matulyte et al., 2023).

Em Teresina, capital do estado do Piauí, a tuberculose tem alcançado índices alarmantes ao longo dos anos. O município apresenta características socioeconômicas heterogêneas, que podem influenciar diretamente a distribuição da doença. Diante desse cenário, torna-se fundamental investigar como as variáveis socioeconômicas se relacionam com a incidência da tuberculose, considerando tanto aspectos espaciais quanto temporais.

O mapeamento espaço-temporal de doenças constitui uma ferramenta analítica essencial para a compreensão dos padrões epidemiológicos, além de auxiliar na formulação de estratégias de controle e prevenção no enfrentamento de doenças infecciosas. Em especial, a análise da distribuição espacial e temporal da incidência de tuberculose permite identificar áreas de maior risco, compreender a dinâmica da transmissão e avaliar a influência de determinados fatores sobre sua distribuição.

Nesse contexto, utiliza-se uma abordagem baseada na autocorrelação espacial, por meio de modelos autorregressivos condicionais (CAR) para capturar os efeitos espaciais, além do uso de prioris RW(1), RW(2) e AR(1) na modelagem dos efeitos temporais. Dessa forma, os modelos

Referências

ACUÑA-VILLAORDUÑA, C. *et al.* Intensity of exposure to pulmonary tuberculosis determines risk of tuberculosis infection and disease. *European Respiratory Journal*, Eur Respiratory Soc, v. 51, n. 1, 2018. [1](#)

ADLER, R. J.; TAYLOR, J. E. *Random Fields and Geometry*. [S.l.]: Springer, 2010. (Springer Monographs in Mathematics). ISBN 978-0-387-48116-6. [18](#)

ALLÉVIUS, B. On the precision matrix of an irregularly sampled ar (1) process. *arXiv preprint arXiv:1801.03791*, 2018. [22](#)

ANSELIN, L. Spatial econometrics: Methods and models. *kluer academic*. Boston, MA, 1988. [25](#)

ARAKAWA, T. *et al.* Tuberculosis control program in the municipal context: performance evaluation. *Revista de saude publica*, SciELO Brasil, v. 51, 2017. [40](#), [85](#)

ASSUNÇÃO, R.; KRAINSKI, E. Neighborhood dependence in bayesian spatial models. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, Wiley Online Library, v. 51, n. 5, p. 851–869, 2009. [19](#)

BAILEY, T. C. Spatial statistical methods in health. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, n. 5, p. 1083–1098, 2001. [17](#)

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. *et al.* *Interactive spatial data analysis*. [S.l.]: Longman Scientific & Technical Essex, 1995. v. 413. [17](#), [23](#)

BAKSALARY, O. M.; TRENKLER, G. The moore–penrose inverse: a hundred years on a frontline of physics research. *The European Physical Journal H*, Springer, v. 46, p. 1–10, 2021. [127](#)

BANERJEE, S.; CARLIN, B. P.; GELFAND, A. E. *Hierarchical modeling and analysis for spatial data*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2003. [25](#)

BANERJEE, S.; CARLIN, B. P.; GELFAND, A. E. *Hierarchical modeling and analysis for spatial data*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2015. [18](#), [24](#)

BANERJEE, S.; ROY, A. *Linear algebra and matrix analysis for statistics*. [S.l.]: Crc Press Boca Raton, 2014. v. 181. [89](#), [128](#)

- BARRETO, M. L. *et al.* Successes and failures in the control of infectious diseases in brazil: social and environmental context, policies, interventions, and research needs. *The lancet*, Elsevier, v. 377, n. 9780, p. 1877–1889, 2011. [107](#)
- BAYES, T. Lii. an essay towards soling a problem in the doctrine of chances. by the late re. mr. bayes, frs communicated by mr. price, in a letter to john canton, amfr s. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, The Royal Society London, n. 53, p. 370–418, 1763. [7](#)
- BERLINER, L. M. Hierarchical bayesian time series models. In: SPRINGER. *Maximum Entropy and Bayesian Methods: Santa Fe, New Mexico, USA, 1995 Proceedings of the Fifteenth International Workshop on Maximum Entropy and Bayesian Methods*. [S.l.], 1996. p. 15–22. [26](#)
- BERNARDINELLI, L. *et al.* Bayesian analysis of space—time variation in disease risk. *Statistics in medicine*, Wiley Online Library, v. 14, n. 21-22, p. 2433–2443, 1995. [30](#), [85](#)
- BESAG, J. Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, Wiley Online Library, v. 36, n. 2, p. 192–225, 1974. [19](#), [23](#), [24](#), [84](#), [125](#)
- BESAG, J. Statistical analysis of non-lattice data. *Journal of the Royal Statistical Society Series D: The Statistician*, Oxford University Press, v. 24, n. 3, p. 179–195, 1975. [24](#)
- BESAG, J.; KOOPERBERG, C. On conditional and intrinsic autoregressions. *Biometrika*, Oxford University Press, v. 82, n. 4, p. 733–746, 1995. [28](#)
- BESAG, J.; YORK, J.; MOLLIÉ, A. Bayesian image restoration, with two applications in spatial statistics. *Annals of the institute of statistical mathematics*, Springer, v. 43, p. 1–20, 1991. [24](#), [27](#), [84](#), [87](#), [105](#)
- BIVAND, R. S. *et al.* *Applied spatial data analysis with R*. [S.l.]: Springer, 2008. v. 747248717. [9](#)
- BLANGIARDO, M.; CAMELETTI, M. *Spatial and spatio-temporal Bayesian models with R-INLA*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. [7](#), [17](#), [19](#), [26](#), [30](#), [32](#), [87](#), [89](#), [105](#)
- BOX, G. E. *et al.* *Time series analysis: forecasting and control*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. [20](#), [21](#)
- BOX, G. E.; TIAO, G. C. *Bayesian inference in statistical analysis*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. [20](#)

- BRASIL. *Boletim Epidemiológico. Secretaria de Vigilância em Saúde*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, DF, 2019. 4
- BRASIL. *Boletim Epidemiológico. Secretaria de Vigilância em Saúde*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, DF, 2020. 4, 83, 108
- BRASIL. *Boletim Epidemiológico. Secretaria de Vigilância em Saúde*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, DF, 2021. 4, 83
- BRASIL. *Boletim Epidemiológico. Secretaria de Vigilância em Saúde*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, DF, 2024. 4
- BRASIL, G. R. *Censo Demográfico 2022*. 2023. 39, 107
- BRASIL, I. Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Censo demográfico*, p. 11, 2022. 38, 84
- BRASIL, M. da saúde:. *Departamento de Doenças de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis Coordenação-Geral de Vigilância das Doenças de Transmissão Respiratória de Condições Crônicas*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, Brazil, 2021. 83
- BRASIL, M. da saúde:. *Guia de vigilância em saúde*: [recurso eletrônico]. Ministério da Saúde Brasília, Brazil, 2021. 4
- BRAZIL, F. N. de S. *Guia de Vigilância epidemiológica*. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://bsms.saude.go.br/bs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_5ed_re_atual.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022. 5
- BROCKWELL, P. J.; DAVIS, R. A. *Time series: theory and methods*. [S.l.]: Springer science & business media, 1991. 20
- BROCKWELL, P. J.; DAVIS, R. A. *Introduction to time series and forecasting*. [S.l.]: Springer, 2002. 20, 21, 22
- BROOKS, S. *et al. Handbook of markov chain monte carlo*. [S.l.]: CRC press, 2011. 105
- BRUCE, P.; BRUCE, A.; GEDECK, P. *Practical statistics for data scientists: 50+ essential concepts using R and Python*. [S.l.]: O'Reilly Media, 2020. 89
- CAMPELO, V. *et al.* Enfrentamento da tuberculose nas populações vulneráveis pós covid-19 no estado do piauí no ano de 2024. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, v. 17, n. 8, p. e9455–e9455, 2024. 1, 38, 83, 106

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 21, n. 2, p. 361–378, 2005. 9, 17, 18

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. *et al.* Root mean square error (rmse) or mean absolute error (mae). *Geoscientific model development discussions*, v. 7, n. 1, p. 1525–1534, 2014. 89

CHATFIELD, C.; XING, H. *The analysis of time series: an introduction with R*. [S.l.]: Chapman and hall/CRC, 2019. 20, 21

CHIARAVALLOTTI-NETO, F. O geoprocessamento e saúde pública. *Arquivos de Ciências da Saúde*, v. 23, n. 4, p. 01–02, 2017. Disponível em: <<http://www.cienciasdasaude.famerp.br/index.php/racs/article/view/661>>. Acesso em: 01 out. 2023. 9

CICHOSZ, P. *Data mining algorithms: explained using R*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014. 89

CLIFFORD, P.; HAMMERSLEY, J. Markov fields on finite graphs and lattices. University of Oxford, 1971. 125

CONGDON, P. *Applied bayesian modelling*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014. 8

CONTROLE, M. d. R. para o. da tuberculose no brasil/ministério da saúde, secretaria de vigilância em saúde, departamento de vigilância das doenças transmissíveis. *Brasília, Ministério da Saúde*, 2019. Disponível em: <<http://antigo.aids.go.br/pt-br/pub/2019/manual-de-recomendacoes-para-o-controle-da-tuberculose-no-brasil>>. Acesso em: 01 no. 2023. 5

COSTA, J. i. *Análise espacial do risco de dengue no município de Campinas: modelagem bayesiana*. Tese (Doutorado) — [sn], 2013. 7

CRAMÉR, H.; LEADBETTER, M. R. *Stationary and Related Stochastic Processes: Sample Function Properties and Their Applications*. [S.l.]: Dover Publications, 2004. Reprint da edição original de 1967. ISBN 978-0486438289. 18

CRESSIE, N. Statistics for spatial data-revised edition-wiley. *New York, NY.[Google Scholar]*, 1993. 23, 126

CRUZ, A. C. S. *et al.* Análise da mortalidade da tuberculose pulmonar no nordeste do brasil de 2010 a 2019. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 3, p. 15946–15965, 2022. 6, 21

CRUZ, R. F. d. Modelos espaço-temporais para mapeamento do risco de sífilis congênita e sua relação com as condições socioeconômicas e ambientais no município de são paulo de 2010 a 2016. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. [ix](#), [32](#), [33](#), [34](#), [35](#), [37](#)

CRUZ, R. F. da *et al.* Spatiotemporal bayesian modeling of the risk of congenital syphilis in são paulo, sp, brazil. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, Elsevier, v. 49, p. 100651, 2024. [107](#)

CURRIE, I. D.; DURBAN, M. Flexible smoothing with p-splines: a unified approach. *Statistical Modelling*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 2, n. 4, p. 333–349, 2002. [13](#)

CZADO, C.; GNEITING, T.; HELD, L. Predictive model assessment for count data. *Biometrics*, Oxford University Press, v. 65, n. 4, p. 1254–1261, 2009. [89](#)

DERIBEW, A. *et al.* Tuberculosis burden in ethiopia from 1990 to 2016: evidence from the global burden of diseases 2016 study. *Ethiopian journal of health sciences*, v. 28, n. 5, 2018. [106](#)

DHEDA, K. *et al.* The intersecting pandemics of tuberculosis and covid-19: population-level and patient-level impact, clinical presentation, and corrective interventions. *The Lancet Respiratory Medicine*, Elsevier, v. 10, n. 6, p. 603–622, 2022. [108](#)

DOBSON, A. J.; BARNETT, A. G. *An introduction to generalized linear models*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2018. [9](#)

DORMANN, C. F. *et al.* Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, v. 36, n. 1, p. 27–46, 2013. [85](#)

EBERLY, L. E.; CARLIN, B. P. Identifiability and convergence issues for markov chain monte carlo fitting of spatial models. *Statistics in medicine*, Wiley Online Library, v. 19, n. 17-18, p. 2279–2294, 2000. [28](#)

EILERS, P. H.; MARX, B. D.; DURBÁN, M. Twenty years of p-splines. *SORT: statistics and operations research transactions*, v. 39, n. 2, p. 0149–186, 2015. [13](#)

EILERS, P. H. C.; MARX, B. D. Generalized linear additive smooth structures. *Journal of computational and graphical statistics*, Taylor & Francis, v. 11, n. 4, p. 758–783, 2002. [13](#)

ELLIOTT, P.; WARTENBERG, D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environmental health perspectives*, National Institute of Environmental Health Sciences, v. 112, n. 9, p. 998–1006, 2004. [9](#), [17](#)

FEITOSA, S. D. M. *et al.* Perfil epidemiológico dos casos de tuberculose no estado da paraíba no período de 2010 a 2019. *Research, Society and Deelopment*, v. 11, n. 8, p. e3111829047–e3111829047, 2022. [83](#)

FORTUNA, J. L.; SOARES, P. A. O. Perfil epidemiológico da tuberculose no município de teixeira de Freitas de 2001 a 2017. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, n. 3, p. 7171–7192, 2020. [3](#)

FOX, G. J. *et al.* Household-contact investigation for detection of tuberculosis in vietnam. *New England Journal of Medicine*, Mass Medical Soc, v. 378, n. 3, p. 221–229, 2018. [40](#), [85](#)

FREITAS, W. M. T. de M. *et al.* Perfil clínico-epidemiológico de pacientes portadores de tuberculose atendidos em uma unidade municipal de saúde de belém, estado do pará, brasil. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, v. 7, n. 2, p. 6–6, 2016. [3](#)

GARETH, J. *et al.* *An introduction to statistical learning: with applications in R*. [S.l.]: Springer, 2013. [14](#)

GELFAND, A. E. *et al.* *Handbook of spatial statistics*. [S.l.]: CRC press, 2010. [105](#)

GELFAND, A. E.; SMITH, A. F. Sampling-based approaches to calculating marginal densities. *Journal of the American statistical association*, Taylor & Francis, v. 85, n. 410, p. 398–409, 1990. [18](#)

GELMAN, A. *et al.* *Bayesian data analysis*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 1995. [7](#)

GELMAN, A. *et al.* *Bayesian data analysis*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2013. [26](#)

GILKS, W. R.; RICHARDSON, S.; SPIEGELHALTER, D. *Markov chain Monte Carlo in practice*. [S.l.]: CRC press, 1995. [30](#), [33](#)

GOLUB, G. H.; LOAN, C. F. V. *Matrix computations*. [S.l.]: JHU press, 2013. [22](#)

GUALBERTO, J. A. Comparação no desempenho dos modelos bayesianos hierárquicos no estudo da evolução temporal do número de óbitos por covid-19 no estado de são paulo, 2020-2021. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências de Botucatu, 2024. [25](#)

GUERRA, G. d. S. *et al.* Avaliação do desempenho e adequação de diferentes metodologias aplicadas para modelagem e inferência de emissão de gases do efeito estufa. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016. [9](#)

GUPTA, A. *et al.* Tuberculosis incidence rates during 8 years of follow-up of an antiretroviral treatment cohort in south africa: comparison with rates in the community. *PLoS One*, Public Library of Science, v. 7, n. 3, p. e34156, 2012. 106

HAFNER, C. M. Estimation of a multiplicative covariance structure in the large dimensional case. Faculty of Economics, 2016. 128

HAINING, R. P.; LI, G. *Modelling Spatial and Spatial-Temporal Data: A Bayesian Approach: A Bayesian Approach*. [S.l.]: CRC Press, 2020. 7, 27, 33, 34

HAMILTON, J. D. *Time series analysis*. [S.l.]: Princeton university press, 2020. 20, 128

HARGREAVES, J. R. *et al.* The social determinants of tuberculosis: from evidence to action. *American journal of public health*, American Public Health Association, v. 101, n. 4, p. 654–662, 2011. 106

HASTIE, T. J.; TIBSHIRANI, R. J. *Generalized Additive Models*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 1990. 84

HASTIES, T.; TIBSHIRANI, R. J. Generalized additive models. *London: Chapman and Hall*, p. 137–173, 1990. 9, 12

HASTINGS, W. K. Monte carlo sampling methods using markov chains and their applications. Oxford University Press, 1970. 18

HILBE, J. M. *Negative binomial regression*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2011. 12

HODGES, J. S. *Richly parameterized linear models: additive, time series, and spatial models using random effects*. [S.l.]: CRC Press, 2013. 22

HOEF, J. M. V.; CRESSIE, N. Multivariable spatial prediction. *Mathematical Geology*, Springer, v. 25, p. 219–240, 1993. 25

HOFF, P. D. *A first course in Bayesian statistical methods*. [S.l.]: Springer, 2009. 7

IBGE. *Censo Demográfico-2022. Aglomerados subnormais, primeiros resultados*. [S.l.]: IBGE Rio de Janeiro, 2022. 38

JACOMO, C. A.; TACHIBANA, V. M.; FLORES, E. F. Geoestatística espaço-temporal e cluster para classificação de dados de precipitação anual do oeste paulista. *Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Anais*, 2013. 25

- JAMES, G. *et al.* *An Introduction to Statistical Learning*. New York: Springer, 2013. v. 112. (Springer Texts in Statistics, v. 112). [85](#)
- KNORR-HELD, L. Bayesian modelling of inseparable space-time variation in disease risk. *Statistics in medicine*, Wiley Online Library, v. 19, n. 17-18, p. 2555–2567, 2000. [30](#), [31](#), [36](#), [86](#), [87](#), [88](#)
- LAWN, S. D.; ZUMLA, A. I. Tuberculosis. *The Lancet*, Elsevier, v. 378, n. 9785, p. 57–72, 2011. [106](#)
- LEAL, B. de S. *et al.* Caracterização epidemiológica da tuberculose em teresina, piauí–brasil. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, n. 48, p. e788–e788, 2020. [1](#)
- LEE, D.; FERGUSON, C.; MITCHELL, R. Air pollution and health in scotland: a multicity study. *Biostatistics*, Oxford University Press, v. 10, n. 3, p. 409–423, 2009. [28](#)
- LEROUX, B. G.; LEI, X.; BRESLOW, N. Estimation of disease rates in small areas: a new mixed model for spatial dependence. In: SPRINGER. *Statistical models in epidemiology, the environment, and clinical trials*. [S.l.], 2000. p. 179–191. [29](#), [84](#), [88](#), [105](#)
- LIMA, Í. R. S. *et al.* Perfil epidemiológico de casos notificados de tuberculose no estado do piauí entre os anos de 2017 a 2021. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 3, p. e18112340604–e18112340604, 2023. [6](#), [7](#), [83](#)
- LIMA, M. d. S. *et al.* Mortality related to tuberculosis-hiv/aids co-infection in brazil, 2000-2011: epidemiological patterns and time trends. *Cadernos de saúde publica*, SciELO Public Health, v. 32, p. e00026715, 2016. [106](#)
- LIMA, M. M. P. de *et al.* Análise temporal e epidemiológica dos casos de tuberculose no estado do piauí, brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 2, p. e160922252–e160922252, 2020. [6](#)
- LIMA, S. V. M. A. *et al.* Qualidade dos sistemas de informação da tuberculose após linkage das bases de dados. *Revista Brasileira de Enfermagem*, SciELO Brasil, v. 73, p. e20200536, 2020. [107](#)
- LIU, W.; CELA, J. Improving credit scoring by generalized additive model. In: *SAS global forum*. [S.l.: s.n.], 2007. [13](#)
- LÖNNROTH, K. *et al.* Drivers of tuberculosis epidemics: the role of risk factors and social determinants. *Social science & medicine*, Elsevier, v. 68, n. 12, p. 2240–2246, 2009. [106](#)

LOPES, R. d. A. D. *et al.* Aglomerados espaço-temporais da Tuberculose no município do Rio de Janeiro e seus determinantes sociais no período de 2010 a 2019. Tese (Doutorado), 2023. 107

LÓPEZ-QUILEZ, A.; MUNOZ, F. Review of spatio-temporal models for disease mapping. *Final Report for the EUROHEIS*, v. 2, 2009. 29

LUNN, D. J. *et al.* Winbugs-a bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statistics and computing*, Springer, p. 325–337, 2000. 8

LÜTKEPOHL, H. *New introduction to multiple time series analysis*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005. 128

MACIEL, E. L.; AL. *et.* Tuberculose no brasil: desafios e perspectivas para o controle. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 22, p. e190058, 2019. 1

MACNEIL, A. Global epidemiology of tuberculosis and progress toward meeting global targets—worldwide, 2018. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, v. 69, 2020. 108

MARTINS, A. d. S.; ADAD, M. R. d. S.; JÚNIOR, R. N. C. M. Epidemiological analysis of tuberculosis cases in the health regions of the state of piauí. 2020. 6, 83

MATULYTE, E. *et al.* Latent tuberculosis infection and associated risk factors among people living with hiv and hiv-uninfected individuals in lithuania. *Pathogens*, MDPI, v. 12, n. 8, p. 990, 2023. 1

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. Binary data. In: *Generalized linear models*. [S.l.]: Springer, 1989. p. 98–148. 9

MCKINLEY, S.; LEINE, M. Cubic spline interpolation. *College of the Redwoods*, n. 1, p. 1049–1060, 1998. 14

MENDES, M. d. S. *et al.* Análise espacial da tuberculose em menores de 15 anos de idade e risco socioeconômico: um estudo ecológico na paraíba, 2007-2016. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, SciELO Brasil, v. 30, n. 3, p. e20201038, 2021. 84

Ministério da Saúde. *Guia Orientador: Promoção da Proteção Social para as Pessoas Acometidas pela Tuberculose*. 2022. <<https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/tuberculose/guia-orientador-promocao-da-protecao-social-para-as-pessoas-acometidas-pela-tuberculose.pdf>>. Acessado em: [Data do Acesso]. 107

Ministério da Saúde/SVS. *Sistema de Informação de Agravos de Notificação - (SINAN) Net*. 2021. Acesso em: 08/03/2021. Disponível em: <<https://datasus.saude.gov.br/acesso-a-informacao/casos-de-tuberculose-desde-2001-sinan>>. 107

MONTECHI, L. N. *et al.* Distribuição espacial da tuberculose em teresina, piauí, de 2005 a 2007. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Coordenação-Geral de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviços/Secretaria ..., n. 3, p. 475–482, 2013. 38

MONTEIRO, A. M. i. *et al.* Análise espacial de dados geográficos. *Brasília: Embrapa*, 2004. 9

MOORE, D. A.; CARPENTER, T. E. Spatial analytical methods and geographic information systems: use in health research and epidemiology. *Epidemiologic Reviews*, v. 21, n. 2, p. 143–161, 1999. 106

MORAGA, P. *Geospatial health data: Modeling and Visualization with R-INLA and shiny*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2019. 8, 9

NAHAS, A. K. *Padrões espaço-temporais da taxa de mortalidade fetal no estado de São Paulo, Brasil, 2005-2016*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018. 26

NASCIMENTO, A. M. V. d. Análise da distribuição espacial dos casos de tuberculose no estado da paraíba e verificação dos fatores associados. 2021. 84

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, Wiley Online Library, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972. 9

OLIVEIRA, A. V. S. de *et al.* Perfil epidemiológico da tuberculose no nordeste do brasil: série temporal de 2008 a 2018. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 2, p. e108922129–e108922129, 2020. 83

OLIVEIRA, W. L. d. Uma classe de modelos de regressão bivariados para respostas discreta e contínua. Universidade Federal de São Carlos, 2016. 14

ORGANIZATION, H. *et al.* *Global tuberculosis report 2021*. Geneva: WHO; 2021. 2021. 1, 3

ORGANIZATION, W. H. *Global Tuberculosis Report 2021*. [S.l.]: World Health Organization, 2021. 1

ORGANIZATION, W. H. *Global Tuberculosis Report 2024*. [S.l.]: World Health Organization, 2024. 3

ORGANIZATION, W. H. *et al.* Global tuberculosis report 2018: executive summary. In: *Global tuberculosis report 2018: executive summary*. [S.l.: s.n.], 2018. 3

ORGANIZATION, W. H. *et al.* Global tuberculosis report 2020: executive summary. In: *Global tuberculosis report 2020: executive summary*. [S.l.: s.n.], 2020. 5

ORGANIZATION, W. H. *et al.* Global tuberculosis report 2022: executive summary. In: *Global tuberculosis report 2022: executive summary*. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://bsms.saude.go.br/bs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_5ed_re_atual.pdf>. Acesso em: 15 no. 2023. 5

ORGANIZATION, W. H. *et al.* *Latent tuberculosis infection: updated and consolidated guidelines for programmatic management*. [S.l.]: World Health Organization, 2022. 1

ORGANIZATION, W. H. *et al.* *Global tuberculosis report 2022*. 2022. 2023. 4, 83

PEDERSEN, E. J. *et al.* Hierarchical generalized additive models in ecology: An introduction with mgcv. *PeerJ*, PeerJ Inc., v. 7, p. e6876, 2019. 101

PENSO, J. M.; PÉRICO, E. Análise espaço-temporal da mortalidade por diabetes mellitus no rio grande do sul. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 6, p. 1836–1848, 2016. 9

PEREIRA, A. G. L. *et al.* Distribuição espacial e contexto socioeconômico da tuberculose, rio de janeiro, brasil. *Revista de Saúde Pública*, SciELO Brasil, v. 49, 2015. 3

PORTELA, N. M. Modelo de mistura de gaussianas fuzzy contextual. Universidade Federal de Pernambuco, 2015. 19

RAMPASO, R. C. Análise bayesiana de dados espaciais explorando diferentes estruturas de variância. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2014. 28

RAO, C. R. *et al.* *Linear statistical inference and its applications*. [S.l.]: Wiley New York, 1973. v. 2. 128

RIEBLER, A. *et al.* An intuitive bayesian spatial model for disease mapping that accounts for scaling. *Statistical methods in medical research*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 25, n. 4, p. 1145–1165, 2016. 29

ROCHA, M. S. *et al.* Sistema de informação de agravos de notificação (sinan): principais características da notificação e da análise de dados relacionada à tuberculose. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, SciELO Public Health, v. 29, p. e2019017, 2020. 107

RUE, H.; HELD, L. *Gaussian Markov random fields: theory and applications*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2005. 19, 25

RUE, H.; MARTINO, S.; CHOPIN, N. Approximate bayesian inference for latent gaussian models by using integrated nested laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, Oxford University Press, v. 71, n. 2, p. 319–392, 2009. 8, 15, 18, 19, 40, 105

RUPPERT, D.; WAND, M. P.; CARROLL, R. J. *Semiparametric regression*. [S.l.]: Cambridge university press, 2003. 14

SAHU, S. *Bayesian modeling of spatio-temporal data with R*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2022. 20

SAÚDE, D. Ministério da. *Boletim Epidemiológico de Tuberculose 2019*. [S.l.]: Ministério da Saúde Brasília, DF, 2019. 4

SAUNDERS, M. J. *et al.* A score to predict and stratify risk of tuberculosis in adult contacts of tuberculosis index cases: a prospective derivation and external validation cohort study. *The Lancet Infectious Diseases*, Elsevier, v. 17, n. 11, p. 1190–1199, 2017. 1

SCHOLZE, A. R. *et al.* Tuberculosis among people living on the street and using alcohol, tobacco, and illegal drugs: Analysis of territories in extreme vulnerability and trends in southern brazil. *BMC Public Health*, Springer, v. 22, n. 1, p. 1–14, 2022. 106

SEMPLAN. *Teresina em bairros- Prefeitura de Teresina*. 2020. <<http://semplan.teresina.pi.gov.br>>. Consultado em 20 de outubro de 2022. 38

SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S.; STOFFER, D. S. *Time series analysis and its applications*. [S.l.]: Springer, 2000. v. 3. 20, 21

SILVA, D. R.; MELLO, F. C. d. Q.; MIGLIORI, G. B. *Série tuberculose 2020*. [S.l.]: SciELO Brasil, 2020. 5

SILVA, M. E. N. d. *et al.* General aspects of tuberculosis: an update on the etiologic agent and treatment. *Revista Brasileira de Análises Clínicas*, [SL], v. 50, n. 3, p. 25–36, 2018. 3

SILVA, M. T.; GALVÃO, T. F. Incidência de tuberculose no brasil: análise de série temporal entre 2001 e 2021 e projeção até 2030. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, SciELO Brasil, v. 27, p. e240027, 2024. 107

SIMPSON, D. *et al.* Penalising model component complexity: A principled, practical approach to constructing priors. 2017. 29, 84, 87, 105

SKALINSKI, L. M.; COSTA, M. d. C. N.; TEIXEIRA, M. d. G. L. Contribuições da análise espacial para a compreensão da dinâmica de transmissão da dengue: revisão integrativa. *Journal of Health & Biological Sciences*, v. 7, n. 1 (Jan-Mar), p. 53–63, 2018. 9

SOUSA, G. J. B. *et al.* Padrão espaçotemporal e fatores associados à incidência de tuberculose: um estudo ecológico. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, SciELO Public Health, v. 25, p. e220006, 2022. 107

SOUZA, E. C. D. O. *et al.* Varredura espaço-temporal para identificação de áreas de risco para hospitalização de crianças por asma em mato grosso. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 22, p. e190019, 2019. 106

SPIEGELHALTER, D. J. *et al.* Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the royal statistical society: Series b (statistical methodology)*, Wiley Online Library, v. 64, n. 4, p. 583–639, 2002. 89

STASINOPOULOS, M. D. *et al.* *Flexible regression and smoothing: using GAMLSS in R*. [S.l.]: CRC Press, 2017. 13

SUSSER, M. The logic in ecological: I. the logic of analysis. *American journal of public health*, American Public Health Association, n. 5, p. 825–829, 1994. 17

TARANTINO, A. Doenças pulmonares. In: *Doenças pulmonares*. [S.l.: s.n.], 1997. p. 1099–1099. 3, 5

TEAM, Q. D. Qgis geographic information system. *Open source geospatial foundation project*, v. 2021, 2021. Disponível em: <<https://qgis.org/>>. 40, 85

TEAM, R. R: A language and environment for statistical computing . 3.6. 1 (r foundation for statistical computing, ienna, austria, 2019). *Sci Rep*, v. 11, p. 12957, 2021. 40

TOLEDO, C. R. S. d. *et al.* Vulnerabilidade à transmissão da leishmaniose visceral humana em área urbana brasileira. *Revista de Saúde Pública*, SciELO Brasil, v. 51, 2017. 9

TREFETHEN, L. N.; BAU, D. *Numerical linear algebra*. [S.l.]: SIAM, 2022. 22

VATCHEVA, K. P. *et al.* Multicollinearity in regression analyses conducted in epidemiologic studies. *Epidemiology (Sunnyvale, Calif.)*, v. 6, n. 2, p. 227, 2016. 85

VIANA, P. V. d. S.; REDNER, P.; RAMOS, J. P. Fatores associados ao abandono e ao óbito de casos de tuberculose drogarr resistente (tbdr) atendidos em um centro de referência no rio de janeiro, brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 34, p. e00048217, 2018. [5](#), [6](#)

WANG, L. *et al.* Spatio-temporal variation in tuberculosis incidence and risk factors for the disease in a region of unbalanced socio-economic development. *BMC Public Health*, Springer, v. 21, p. 1–11, 2021. [40](#), [85](#)

WANG, Y.-G.; FU, L.; PAUL, S. *Analysis of longitudinal data with examples*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2022. [21](#)

WATANABE, S.; OPPER, M. Asymptotic equivalence of bayes cross validation and widely applicable information criterion in singular learning theory. *Journal of machine learning research*, v. 11, n. 12, 2010. [89](#)

WERNECK, G. L.; STRUCHINER, C. J. Estudos de agregados de doença no espaço-tempo: conceitos, técnicas e desafios. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 13, p. 611–624, 1997. [106](#)

WICKHAM, H.; WICKHAM, H. Programming with ggplot2. *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*, Springer, p. 241–253, 2016. [40](#), [85](#)

WOOD, S. N. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. 2nd. ed. Boca Raton, FL: CRC press, 2017. ISBN 9781498728331. [101](#)

XAVIER, D. R. *et al.* Evaluation of completeness and timeliness of data in the national information system for notifiable diseases for spotted fever in the state of são paulo, brazil, 2007-2017. *Epidemiologia e servicos de saude*, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. e2022416, 2023. [107](#)

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 1, n. 1, p. 3–14, 2010. [85](#)