

PREVISÃO DA TENDÊNCIA DA COQUELUCHE NO BRASIL EM 2026–2027 COM BASE NOS MODELOS ARIMA E SARIMA

PREDICTING THE 2026–2027 WHOOPING COUGH TREND IN BRAZIL BASED ON ARIMA AND SARIMA MODELS

LEANDRO DO PRADO ASSUNÇÃO¹, BENEDITO RODRIGUES DA SILVA NETO², ANDRÉ LUÍS ELIAS MOREIRA³,
LARISSA DE OLIVEIRA ROSA MARQUES⁴, IGOR MENDES MOREIRA DE OLIVEIRA⁵, ANTONIA AGUIAR MOREIRA NETA LIMA⁶,
LAURA RANIERE BORGES DOS ANJOS⁷

1. Doutor em Medicina Tropical e Saúde Pública e Pós-Doutor em Cuidados e Avaliação em Saúde pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil; acadêmico de Medicina na Universidad Interamericana; Consultor Estatístico pelo Instituto de Educação Estatística e Científica, Trindade, Goiás, Brasil.
2. Doutor em Medicina Tropical e Saúde Pública e Pós-Doutor em Genética Médica e Biologia Molecular; Professor Assistente da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil;
3. Doutor em Medicina Tropical e Saúde Pública e Pós-Doutor em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil; Professor do Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;
4. Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular (IESE), Goiânia, Goiás, Brasil; Pós-Graduação em Hematologia (Monste Pacoal), Goiânia, Goiás, Brasil; Analista laboratorial titular (Hospital Israelita Albert Einstein).
5. Doutor em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil; Responsável Técnico – Laboratório Lohani Martins dos Santos Peixoto; Professor – Centro Universitário de Goiânia (UNICEUG), Goiânia, Goiás, Brasil.
6. Médica pela Universidad Interamericana, Pedro Juan Caballero, Paraguai.
7. Doutor em Biotecnologia e Biodiversidade pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil; acadêmico de Medicina da Universidad Interamericana; Consultor Científico pelo Instituto de Educação Estatística e Científica, Trindade, Goiás, Brasil.

RESUMO

Introdução: Embora a introdução da vacinação contra a coqueluche tenha reduzido significativamente sua incidência, os últimos anos têm demonstrado um ressurgimento da doença, enfatizando a importância de análises temporais e regionais para compreender sua dinâmica e subsidiar a vigilância epidemiológica. **Objetivo:** Desenvolver um modelo de série temporal para prever os casos de coqueluche no Brasil nos anos de 2026 e 2027. **Material e Métodos:** Este estudo ecológico de série temporal analisou as notificações de coqueluche no Brasil no período de 2007 a 2024, utilizando dados públicos disponíveis do SINAN/Tabnet/DataSUS. Os dados foram organizados em séries mensais e anuais, seguindo as diretrizes GATHER. As características das séries foram avaliadas por meio dos testes de Dickey-Fuller, Mann-Kendall, Kruskal-Wallis e Box-Pierce. Modelos ARIMA e SARIMA foram aplicados para prever os casos de 2026 e 2027 com intervalos de confiança de 95%. As análises foram realizadas utilizando R (v4.3.2) e Excel, de acordo com protocolos previamente estabelecidos. **Resultados:** Entre 2007 e 2024, foram registrados 42.354 casos de coqueluche. Observou-se que as regiões Sul e Sudeste foram as mais afetadas pela doença durante esse período. Os resultados indicaram que, embora os modelos ARIMA e SARIMA identificados para cada região apresentassem perfis relativamente estáveis de estacionariedade, tendência e sazonalidade, a análise baseada no modelo ajustado com o conjunto completo

de dados até 2024 permitiu previsões mais robustas e confiáveis. A previsão indica aumento dos casos de coqueluche na região Sudeste de maio a outubro de 2026 e de julho a dezembro de 2027. Na região Sul, observa-se um aumento menor, porém prolongado, entre janeiro e março de 2026 e de agosto de 2026 a dezembro de 2027, sugerindo variações sazonais significativas. **Conclusão:** A coqueluche está ressurgindo no Brasil com tendências cíclicas e distribuição geográfica desigual. As previsões sugerem aumento dos casos nos próximos anos, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, reforçando a necessidade de vigilância contínua, campanhas de vacinação direcionadas e intervenções proativas em saúde pública.

Palavras-chave: ARIMA, Brasil, SARIMA, TSM, Coqueluche.

ABSTRACT

Introduction: Although the introduction of vaccination against whooping cough significantly reduced its incidence, recent years have shown a resurgence, emphasizing the importance of temporal and regional analyses to understand disease dynamics and support epidemiological surveillance. **Objective:** To develop a time series model to forecast whooping cough cases in Brazil for the years 2026 and 2027. **Material and Methods:** This ecological time series study analyzed whooping cough notifications in Brazil from 2007 to 2024 using publicly available data from SINAN/Tabnet/DataSUS. Data were organized into monthly and annual series following GATHER guidelines. Series characteristics were evaluated using Dickey-Fuller, Mann-Kendall, Kruskal-Wallis, and Box-Pierce tests. ARIMA and SARIMA models were applied to forecast cases for 2026 and 2027 with 95% confidence intervals. Analyses were performed using R (v4.3.2) and Excel, according to established protocols previously. **Results:** Between 2007 and 2024, 42354 cases were recorded of whooping cough. It was observed that the South and Southeast were the regions most affected by whooping cough during this period. The results indicated that, although the ARIMA and SARIMA models identified for each region exhibited relatively stable profiles of stationarity, trend, and seasonality, the analysis based on the model adjusted with the complete dataset up to 2024 allowed for more robust and reliable forecasts. The forecast indicates an increase in whooping cough cases in the Southeast region from May to October 2026 and from July to December 2027. In the South region, a smaller but prolonged increase is observed from January and March 2026 and from August 2026 to December 2027, suggesting significant seasonal variations. **Conclusion:** Whooping cough is reemerging in Brazil with cyclical trends and unequal geographic distribution. Forecasts suggest increasing cases in the coming years, especially in the Southeast and South, reinforcing the need for continuous surveillance, targeted vaccination campaigns, and proactive public health interventions.

Keywords: ARIMA, Brazil, SARIMA, TSM, Whooping cough.

INTRODUÇÃO

A coqueluche, também conhecida como *pertussis*, é uma infecção respiratória aguda causada pela bactéria Gram-negativa *Bordetella pertussis*. Trata-se de uma doença altamente contagiosa, transmitida por contato direto com gotículas respiratórias expelidas por indivíduos infectados ao tossir, espirrar ou falar. A doença é clinicamente caracterizada por episódios intensos de tosse paroxística, seguidos por estridor inspiratório característico ou vômitos pós-tosse. Em casos graves, os sintomas podem evoluir para apneia, hipóxia, convulsões, pneumonia, encefalopatia e até óbito.¹⁻³ O diagnóstico é realizado por meio de identificação microbiológica (cultura), PCR e/ou sorologia, porém o diagnóstico tardio é comum devido à sobreposição dos sintomas com outras condições respiratórias.^{1,2}

A vacinação permanece como o principal pilar da prevenção e consiste na imunização primária na infância com a vacina DTaP, seguida por doses de reforço na adolescência. Alguns estudos também propõem a vacinação durante a fase adulta.⁴ A imunização durante a gestação é particularmente recomendada para proteger os recém-nascidos por meio da transferência passiva de anticorpos.⁴⁻⁶

Apesar da disponibilidade da vacina, a imunidade de curta duração, combinada com a baixa adesão aos programas completos de imunização em alguns países, contribui para a ocorrência de surtos periódicos.^{7,8} Esses fatores intensificam a natureza cíclica da incidência da coqueluche, que reaparece a cada 3 a 5 anos, independentemente do tipo de imunização ou da cobertura vacinal.⁹

Outros fatores também podem desempenhar papel importante nesses surtos, como a introdução, em vários países, da vacina acelular em substituição à vacina atenuada, a variabilidade fenotípica de *B. pertussis* e o aumento da resistência bacteriana aos antibióticos comumente utilizados, especialmente os macrolídeos.¹⁰ Esses surtos afetam principalmente indivíduos não vacinados, particularmente lactentes, representando riscos significativos à saúde durante a primeira infância.⁴

O ressurgimento dos casos de coqueluche nos últimos anos ressalta sua importância contínua como problema de saúde pública em nível global.¹¹ Entre os países da América do Sul, o Brasil se destaca pelo ressurgimento da coqueluche, com um pico acentuado a partir de 2024. Esse cenário pode indicar o início de um novo ciclo epidêmico, particularmente nas regiões Sudeste e Sul, além de evidenciar disparidades regionais.¹² Assim, a vigilância epidemiológica, especialmente durante os picos epidêmicos, é fundamental para melhorar os desfechos e auxiliar o processo de tomada de decisão em saúde.^{1,2}

A aplicação de modelagem de séries temporais (MST) tem se tornado cada vez mais relevante na vigilância epidemiológica de diversas doenças.^{13–16} Os modelos ARIMA/SARIMA permitem a identificação de padrões temporais, sazonalidade e disparidades regionais.^{13–16} Essas abordagens ampliam a capacidade de projetar tendências futuras com confiabilidade estatística.^{17,18} A modelagem preditiva baseada em dados históricos ajuda a identificar períodos e regiões de alto risco e fortalece os processos de tomada de decisão em saúde pública para otimização da alocação de recursos e das campanhas de vacinação. Além disso, a previsão de surtos possibilita respostas mais rápidas a novos eventos epidêmicos.¹⁴

Este estudo teve como objetivo, utilizando modelagem de séries temporais, prever o número de casos de coqueluche para os anos de 2026 e 2027. Essas projeções visam apoiar o planejamento proativo em vigilância, os esforços de prevenção e estratégias mais eficazes de manejo epidêmico.

MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos Éticos

Os dados de coqueluche analisados neste estudo foram obtidos do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), um banco de dados público, de livre acesso e sem restrições, disponibilizado pelo SINAN por meio do Tabnet/DataSUS.¹⁹ De acordo com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, estudos que utilizam exclusivamente dados públicos não necessitam de aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa.²⁰ Além disso, nenhuma informação individualizada ou sensível foi acessada ou divulgada.

Delineamento do estudo e contexto

Trata-se de um estudo ecológico com abordagem de série temporal, conduzido de acordo com as diretrizes GATHER.²¹ Foram analisadas as notificações de coqueluche no Brasil no período de 2007 a 2024. Os dados foram obtidos do SINAN por meio da plataforma Tabnet/DataSUS, que consolida as notificações compulsórias de coqueluche realizadas em até 24 horas após a suspeita, conforme estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 4, de 28 de setembro de 2017, disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinannet/cnv/coquebr.def>.²²

O Brasil foi selecionado como área de estudo devido à disponibilidade de dados e à relevância epidemiológica

da coqueluche em nível nacional. Os dados, provenientes do SINAN, foram inicialmente organizados em planilhas anuais e, posteriormente, consolidados em um único banco de dados. Foi realizado um rigoroso procedimento de controle de qualidade dos dados para identificar inconsistências, valores ausentes e garantir a integridade geral das informações. O conjunto de dados consolidado foi utilizado para o desenvolvimento dos modelos. A metodologia está resumida no fluxograma apresentado na Figura 1.

Análise estatística e previsões da coqueluche para 2026 e 2027

Os dados foram organizados em séries temporais mensais e anuais para análise estatística. Avaliações preliminares foram realizadas para examinar as características das séries temporais por meio dos seguintes testes de hipótese: teste de Dickey-Fuller (estacionariedade), teste de Mann-Kendall (tendência), teste de Kruskal-Wallis (sazonalidade) e teste de Box-Pierce (autocorrelação dos resíduos).

Com base nos resultados desses testes, os dados foram modelados utilizando as abordagens ARIMA e SARIMA. O melhor modelo foi utilizado para prever os casos de coqueluche para o ano de 2025, bem como para 2026 e 2027. Embora 2025 seja o ano corrente, a modelagem preditiva foi necessária devido à indisponibilidade de dados confirmados no momento da análise. Essa previsão preliminar permitiu a extensão das projeções para 2026 e 2027. As estimativas foram geradas por meio de inferência estatística pontual e intervalar, com intervalo de confiança de 95%, a fim de aumentar a robustez das previsões. Todas as análises foram realizadas utilizando o Microsoft Excel 2020 e o software R (versão 4.3.2) para o processamento estatístico e desenvolvimento dos modelos.²³ A metodologia aplicada segue o protocolo descrito em (24) e (14).

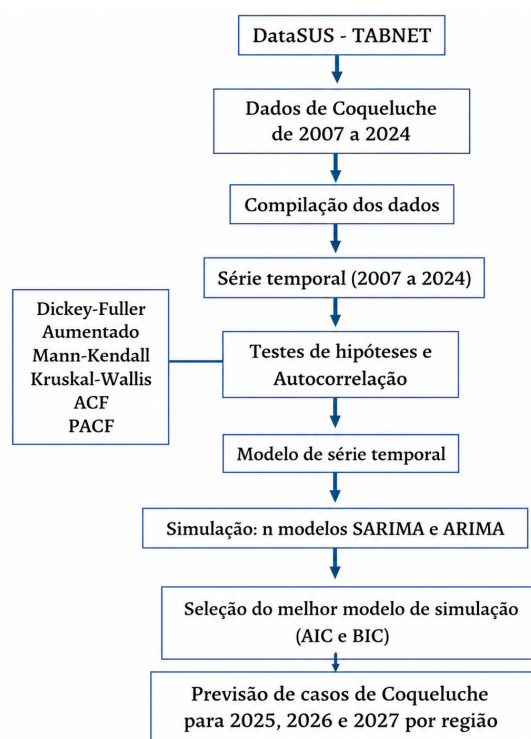


Figura 1: Fluxograma representando a metodologia utilizada neste estudo. SARIMA: Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonal; ARIMA: Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis; ACF: Função de Autocorrelação; AIC: Critério de Informação de Akaike; BIC: Critério de Informação Bayesiano.

RESULTADOS

Na base de dados do SINAN/Tabnet/DataSUS, foram identificados 18 dataframes contendo um total de 42.354 notificações de coqueluche no Brasil, no período de 2007 a 2024. Todas essas notificações de coqueluche do DataSUS foram incluídas no estudo. O número total de casos de coqueluche registrados na base de dados do SINAN/Tabnet/DataSUS entre 2007 e 2024 está descrito na tabela 1.

Tabela 1. Número total de casos de coqueluche no SINAN/Tabnet/DataSUS (2007 a 2024).

Ano	Casos
2007	781
2008	1309
2009	1131
2010	548
2011	2034
2012	5137
2013	6451
2014	8603
2015	3321
2016	1318
2017	1759
2018	2237
2019	1615
2020	302
2021	154
2022	246
2023	207
2024	5201
Total	42354

O número total e a frequência relativa dos casos de coqueluche por região são apresentados na Tabela 2. O total de casos de coqueluche por ano e por região está detalhado na Tabela Suplementar 1.

Tabela 2: Número total e frequência relativa dos casos de coqueluche por região (2007 a 2024).

Região	Caso	Frequência relativa (%)
Centro-Oeste	2901	6,85
Norte	2569	6,07
Nordeste	9203	21,73
Sul	10308	24,34
Sudeste	17373	41,02
Total	42354	100

Entre 2020 e 2023, o mundo enfrentou a pandemia de COVID-19, período marcado por uma redução substancial dos casos de coqueluche, seguida por um aumento significativo em 2024. Nesse contexto, foi realizada uma análise preliminar utilizando os critérios de informação AIC (Critério de Informação de Akaike) e BIC (Critério de Informação Bayesiano), bem como testes de hipótese, para comparar os modelos construídos com dados até 2019 e aqueles que incluíram dados até 2024. Ao todo, foram gerados 233 modelos utilizando dados até 2019 e 232 modelos utilizando dados até 2024. Os valores de AIC e BIC para cada modelo estão detalhados na Tabela Suplementar 2.

Os parâmetros AIC e BIC indicam que o melhor modelo gerado para 2019 apresentou maior qualidade em comparação ao melhor modelo gerado com o conjunto de dados até 2024. Todos os parâmetros de AIC e BIC dos melhores modelos gerados para 2019 e 2024 estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros dos testes de hipótese e dos modelos aplicados aos conjuntos de dados até 2019 e 2024.

Região	Ano	Modelos	AIC	BIC	Dickey-Fuller	Mann-Kendall	Kruskal-Wallis
Norte	2024	ARIMA(3,1,2)	1533,65	1553,88	0,01	0,00	0,58
	2019	SARIMA(3,2,3)(3,2,3)	1072,23	1109,51	0,02	0,02	0,02
Nordeste	2024	ARIMA(3,1,2)	1926,60	1946,82	0,28	0,01	0,99
	2019	ARIMA(3,1,2)	1435,47	1453,73	0,35	0,00	0,99
Sudeste	2024	ARIMA(3,1,2)	2209,87	2230,09	0,18	0,00	0,98
	2019	ARIMA(3,2,3)	1597,48	1618,74	0,56	0,01	0,49
Centro-Oeste	2024	ARIMA(3,1,2)	1538,22	1558,44	0,29	0,00	0,99
	2019	ARIMA(3,1,2)	1117,19	1135,45	0,60	0,00	0,99
Sul	2024	ARIMA(2,0,3)	2182,81	2206,44	0,46	0,00	0,91
	2019	ARIMA(1,1,1)	1407,58	1416,71	0,55	0,05	0,25

AIC: Critério de Informação de Akaike; BIC: Critério de Informação Bayesiano

Adicionalmente, a aplicação dos testes de hipótese indicou que os modelos ARIMA (3,1,2) para as regiões Nordeste e Centro-Oeste apresentaram parâmetros semelhantes tanto para o conjunto de dados até 2019 quanto para o conjunto de dados até 2024, mantendo os mesmos perfis de estacionariedade (Dickey-Fuller), tendência (Mann-Kendall) e sazonalidade (Kruskal-Wallis) (Tabela 3).

Para a região Sul, os modelos identificados para os conjuntos de dados até 2019 e até 2024 foram ARIMA (1,1,1) e ARIMA (2,0,3), respectivamente. Os parâmetros obtidos a partir dos testes de hipótese indicam que os perfis de estacionariedade (Dickey-Fuller: 2019 = 0,55; 2024 = 0,46), tendência (Mann-Kendall: 2019 = 0,05; 2024 = 0,00) e sazonalidade (Kruskal-Wallis: 2019 = 0,25; 2024 = 0,91) permanecem semelhantes (Tabela 3).

Para a região Sudeste, o modelo identificado para o conjunto de dados até 2019 foi ARIMA (3,1,2), e para o conjunto de dados até 2024 foi ARIMA (3,2,3). Os parâmetros obtidos a partir dos testes de hipótese indicam que os perfis de estacionariedade (Dickey-Fuller: 2019 = 0,56; 2024 = 0,18), tendência (Mann-Kendall: 2019 = 0,01; 2024 = 0,00) e sazonalidade (Kruskal-Wallis: 2019 = 0,49; 2024 = 0,98) permanecem semelhantes (Tabela 3).

Para a região Norte, o modelo identificado para o conjunto de dados até 2019 foi SARIMA (3,2,3), e para o conjunto de dados até 2024 foi ARIMA (3,1,2). Os testes de hipótese indicam que os perfis de estacionariedade (Dickey-Fuller: 2019 = 0,02; 2024 = 0,01) e tendência (Mann-Kendall: 2019 = 0,02; 2024 = 0,00) são semelhantes. No entanto, o modelo ARIMA (3,1,2) para 2024 não apresentou evidência de sazonalidade (Kruskal-Wallis: 2024 = 0,58), enquanto o modelo SARIMA (3,2,3) para 2019 apresentou evidência de sazonalidade (Kruskal-Wallis: 2019 = 0,02) (Tabela 3).

Apesar desses achados, a utilização dos modelos baseados no conjunto de dados até 2019 poderia resultar em previsões enviesadas para 2025, 2026 e 2027, devido à ausência de cinco anos de notificações de coqueluche registradas no SINAN/Tabnet/DataSUS. Por outro lado, a utilização do modelo estimado com parâmetros AIC e BIC mais elevados proporciona previsões de maior qualidade, em função do maior volume de dados. Assim, o presente estudo prosseguiu com a análise preliminar considerando o modelo gerado a partir do conjunto de dados que incluiu as notificações de coqueluche até 2024.

A Figura 2A apresenta o número de casos de coqueluche no Brasil no período de 2007 a 2024, em base mensal e anual, destacando uma redução acentuada dos casos entre 2020 e 2023, seguida por um aumento expressivo em 2024. A Figura 2B apresenta os mesmos dados, também em base mensal e anual, desagregados por região (Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste), permitindo uma análise regional da dinâmica epidemiológica da doença. Entre 2012 e 2014, foi observado um surto de coqueluche no país, com destaque para a região Sudeste, que apresentou o maior número de casos notificados. Além disso, o aumento expressivo dos casos registrados em 2023 foi impulsionado principalmente pelo crescimento das notificações nas regiões Nordeste e Sudeste. A Figura 2C apresenta um mapa de calor ilustrando a distribuição dos casos de coqueluche nas regiões brasileiras no período de 2007 a 2024.

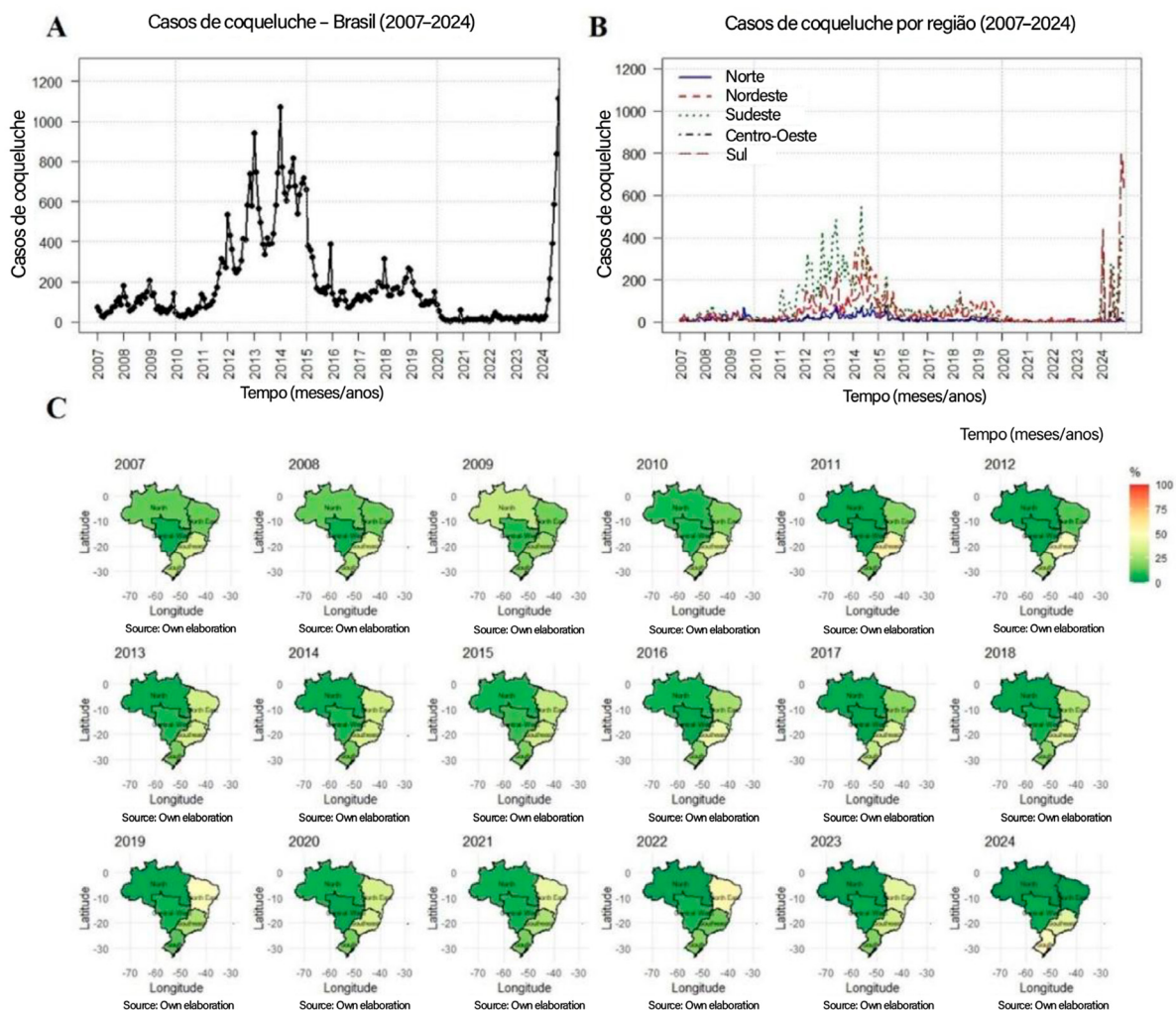


Figura 2: A) Casos de coqueluche no Brasil, 2007 a 2024; B) Casos de coqueluche por região brasileira, 2007 a 2024; C) Mapa de calor ilustrando a distribuição dos casos de coqueluche nas regiões brasileiras no período de 2007 a 2024. No mapa, as cores variam do verde ao vermelho, correspondendo à intensidade do número de casos: tons mais escuros de verde indicam menor número de casos de coqueluche, enquanto tons mais claros representam regiões com maior número de casos notificados.

As Figuras 3A, 3B e 3C apresentam mapas de calor com a previsão do número de casos de coqueluche por região para os anos de 2025, 2026 e 2027, respectivamente. A previsão para 2025 foi incluída porque, no momento da análise, os dados para esse ano ainda não estavam disponíveis. A Figura 3D ilustra os casos previstos mensalmente por região, destacando um aumento esperado entre maio e outubro de 2026 na região Sudeste. Um padrão semelhante é projetado para 2027, com aumento dos casos previstos entre julho e dezembro na mesma região. Além disso, espera-se um aumento dos casos notificados na região Sul entre dezembro de 2025 e fevereiro de 2026, indicando variações sazonais significativas, com um aumento mais gradual, porém prolongado, projetado de agosto de 2026 a dezembro de 2027.

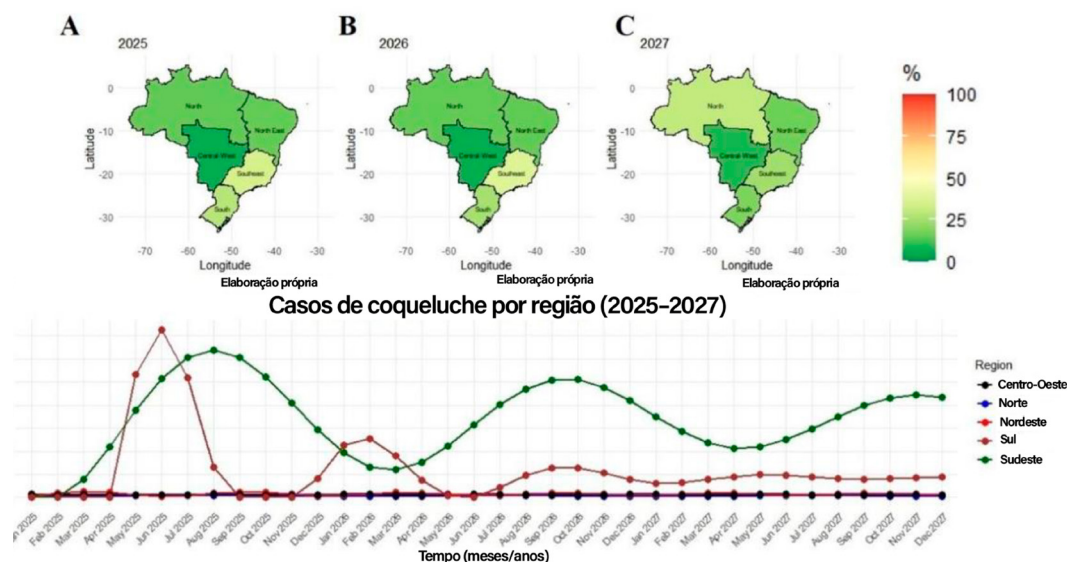


Figura 3: A) Figura 3: A – C) Mapas de calor mostrando a previsão do número de casos de coqueluche por região para os anos de 2025, 2026 e 2027, respectivamente. No mapa, as cores variam do verde ao vermelho, correspondendo à intensidade do número de casos: tons mais escuros de verde indicam menor número de casos de coqueluche, enquanto tons mais claros representam regiões com maior número de casos notificados. D) Previsão dos casos mensais de coqueluche de 2025 a 2027, estratificados por região.

DISCUSSÃO

O ressurgimento recente da coqueluche em países como China, Estados Unidos, Brasil e México voltou a se configurar como uma preocupação global de saúde pública, apesar da disponibilidade de imunização eficaz.^{12, 25, 26} Paralelamente, a previsão de cenários epidemiológicos tem se consolidado como uma ferramenta estratégica para a vigilância de diversas doenças, incluindo a coqueluche.^{27,28} Essas previsões têm como objetivo fornecer informações mais precisas para apoiar a otimização de recursos financeiros, a adequada alocação de recursos humanos e o processo de tomada de decisão em saúde pública no enfrentamento de diferentes doenças.²⁷

No presente estudo, os dados foram obtidos do SINAN/Tabnet/DataSUS, um banco de dados público gerenciado pelo Ministério da Saúde do Brasil, que compila notificações de casos de coqueluche desde 2007.^{29,30} A análise de 42.354 notificações registradas entre 2007 e 2024 permitiu a avaliação da dinâmica epidemiológica da coqueluche no Brasil. Essa análise reforçou a natureza cíclica da doença, com intervalos de 3 a 5 anos, conforme previamente relatado pelo Ministério da Saúde do Brasil e também observado em outras populações ao redor do mundo.^{11, 29, 31}

De forma interessante, no presente estudo, foi observado um aumento acentuado nas notificações de coqueluche em 2014, possivelmente decorrente da atualização das definições de casos suspeitos e confirmados emitidas pelo Ministério da Saúde, que passaram a incorporar critérios específicos por faixa etária e duração da tosse.³² Essa mudança tornou o sistema de vigilância brasileiro mais sensível à detecção de casos, particularmente entre lactentes, que representam o grupo mais afetado pela doença. Além disso, esse aumento coincide com a fase final do pico epidêmico que teve início na Semana Epidemiológica (SE) 30 de 2011 e se estendeu até a SE 33 de 2014.^{32,33}

No presente estudo, as análises iniciais indicaram uma redução acentuada dos casos de coqueluche

entre 2020 e 2023, seguida por um aumento substancial em 2024. Esse padrão é semelhante ao observado em um estudo realizado na China, que relatou um pico de casos de coqueluche logo após a pandemia de COVID-19.²⁵ Em nosso estudo, acredita-se que a redução dos casos entre 2020 e 2023, seguida pelo aumento expressivo em 2024, reflita os impactos da pandemia de COVID-19 na vigilância epidemiológica, a diminuição da cobertura vacinal contra coqueluche e a retomada dos padrões de mobilidade e interação social.³⁴ Estudos anteriores relataram que as medidas de distanciamento social e a priorização da vacinação contra a COVID-19 contribuíram para uma redução temporária na circulação de outros patógenos respiratórios, incluindo *B. pertussis*.^{25,34} Por outro lado, o aumento observado em 2024 pode refletir um efeito rebote associado à retomada da vigilância epidemiológica, à reabertura de escolas e fronteiras e à baixa imunidade populacional (imunidade de rebanho) após um período prolongado de menor exposição ao agente infeccioso.²⁵

Um estudo recente conduzido em 2024 também relatou um aumento significativo dos casos de coqueluche após a pandemia de COVID-19, com mudanças nos grupos etários acometidos, maior incidência entre crianças mais velhas, aumento da hesitação vacinal e maior prevalência de cepas de *B. pertussis* resistentes a macrolídeos.³⁵ Em nosso estudo, a hesitação vacinal e a resistência a macrolídeos não foram avaliadas devido à ausência dessas variáveis nas bases de dados do SINAN/Tabnet/DataSUS.

Em nosso estudo, a distribuição dos casos de coqueluche por região no período de 2007 a 2024 demonstrou maior número de notificações nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste, respectivamente. Esse padrão pode ser explicado por diversos fatores, incluindo a maior densidade populacional e concentração urbana nas regiões Sudeste e Sul, o que pode facilitar a transmissão de doenças respiratórias altamente contagiosas, como a coqueluche.³⁶ Além disso, essas regiões possuem sistemas de vigilância mais estruturados, com maior capacidade diagnóstica, o que pode resultar em maiores taxas de notificação de casos. A heterogeneidade na cobertura vacinal contra a coqueluche, tanto em crianças quanto em gestantes, também pode contribuir para a presença de populações suscetíveis, particularmente em áreas do Nordeste onde o acesso aos serviços de saúde é mais limitado.^{37,38} Outros fatores, como mobilidade populacional e desigualdades socioeconômicas, podem ter amplificado ainda mais a transmissão, contribuindo para os picos de casos observados nessas regiões.

Por outro lado, a modelagem de séries temporais baseada nos modelos SARIMA e ARIMA tem sido amplamente utilizada para refletir taxas de incidência de diversas doenças infecciosas, incluindo dengue, malária, hepatite E, entre outras.³⁹⁻⁴³ Em nosso estudo, a análise dos modelos demonstrou que, apesar das alterações na dinâmica dos casos durante a pandemia, os padrões de estacionariedade, tendência e sazonalidade permaneceram semelhantes para a maioria das regiões ao comparar os modelos construídos com dados até 2019 e aqueles que incorporaram dados até 2024.

Nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, os modelos ARIMA (3,1,2) apresentaram parâmetros consistentes, indicando estabilidade nos padrões históricos da doença, mesmo diante das interrupções causadas pela pandemia de COVID-19. Nas regiões Sul e Sudeste, foram observadas alterações nos parâmetros dos modelos, com o modelo ARIMA (1,1,1) sendo substituído por ARIMA (2,0,3) na região Sul e o modelo ARIMA (3,1,2) sendo substituído por ARIMA (3,2,3) na região Sudeste, respectivamente. Essas modificações sugerem pequenas alterações nos padrões de tendência e sazonalidade; no entanto, os testes de hipótese indicaram que essas variações não foram estatisticamente significativas. Na região Norte, a substituição do modelo SARIMA por um modelo ARIMA sugere uma possível perda de sazonalidade, o que pode estar associado à subnotificação e à redução da sensibilidade do sistema de vigilância durante o período pandêmico.

Em nosso estudo, o modelo gerado a partir do conjunto de dados que incluiu informações sobre coqueluche até 2024 foi utilizado para realizar as previsões. No momento da análise, os dados de 2025 ainda não estavam disponíveis no DataSUS; portanto, foi gerada uma previsão para esse ano, estimando 3.338 casos de coqueluche em 2025. Na atualização mais recente (14 de novembro de 2025), o DataSUS reportou 2.403 casos confirmados.²⁹ Embora esse número seja inferior à nossa previsão, ele permanece consistente com a tendência global de aumento, considerando que ainda restam várias semanas até o final do ano. Nossas projeções para 2026 indicam um aumento esperado dos casos entre maio e outubro na região Sudeste, com padrões sazonais semelhantes previstos entre julho e dezembro de 2027. Além disso, na região Sul, observa-se uma tendência de aumento na incidência de coqueluche entre janeiro e março de 2026, estendendo-se de agosto de 2026 a dezembro de 2027, sugerindo variações sazonais significativas.

Uma limitação potencial deste estudo é a ocorrência de subnotificação, particularmente durante eventos excepcionais, como a pandemia de COVID-19. No entanto, os resultados destacam a utilidade dos modelos de séries temporais para a previsão de doenças infecciosas. Além disso, o cenário projetado de coqueluche para 2026 e 2027 reforça sua relevância como uma das doenças infecciosas mais desafiadoras para a saúde pública no Brasil, fornecendo informações essenciais para o planejamento de recursos, o fortalecimento das campanhas de imunização e o aprimoramento da vigilância epidemiológica durante períodos de maior risco.¹¹

CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que, apesar dos avanços alcançados por meio da vacinação, a coqueluche continua a apresentar uma dinâmica epidemiológica complexa no Brasil, caracterizada por flutuações sazonais e disparidades regionais. A redução dos casos entre 2020 e 2023, seguida pelo aumento em 2024, reflete os impactos da pandemia de COVID-19 sobre a vigilância, a cobertura vacinal e a mobilidade social. Os modelos de séries temporais (ARIMA e SARIMA) mostraram-se eficazes na identificação de tendências e padrões regionais, e as projeções para 2026 e 2027 indicam um aumento sustentado dos casos. Esses achados reforçam a importância da vigilância contínua, de estratégias de vacinação direcionadas e do planejamento estratégico em saúde pública, destacando a coqueluche como um desafio persistente no país.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao DATASUS e ao SINAN por disponibilizarem acesso público e irrestrito aos dados relacionados à B. pertussis. A transparência no acesso às informações epidemiológicas constitui um pilar fundamental para o desenvolvimento de investigações científicas robustas, como o presente estudo. Além disso, contribui para a formulação de políticas públicas em saúde baseadas em evidências e para o aprimoramento das estratégias de vigilância e controle dessa importante condição de saúde pública.

FINANCIAMENTO

Os autores não receberam qualquer apoio financeiro para a realização deste estudo.

DISPONIBILIDADE DE DADOS E MATERIAIS

Todos os dados brutos estão disponíveis no SINAN/Tabnet/DataSUS. A metodologia aplicada

neste estudo foi previamente detalhada no protocolo “Algoritmo com simulação de séries temporais versus autoajuste em R para previsão de casos de tuberculose em Goiás.”

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Os autores LRBA e LPA contribuíram igualmente para a elaboração deste artigo. LRBA e LPA participaram da conceitualização, metodologia, investigação e elaboração das figuras. BRSN, IMMO, ALEM, LORM e LRBA: redação do manuscrito original; LRBA e LPA: edição das figuras. LPA: análise estatística, revisão e edição do manuscrito. Todos os autores concordaram com a versão final do manuscrito antes da submissão.

REFERÊNCIAS

1. Leontari K, Lianou A, Tsantes AG, Filippatos F, Iliodromiti Z, Boutsikou T, Paliatsou S, Chaldoupis AE, Ioannou P, Mpakosi A, Iacovidou N, Sokou R. Pertussis in Early Infancy: Diagnostic Challenges, Disease Burden, and Public Health Implications Amidst the 2024 Resurgence, with Emphasis on Maternal Vaccination Strategies. *Vaccines (Basel)*. 2025;13(3).
2. Mi YM, Deng JK, Zhang T, Cao Q, Wang CQ, Ye S, Chen YH, He HQ, Wu BB, Liu Y, Zeng M, Li W, Wu F, Xu HM, Zhao SY. Expert consensus for pertussis in children: new concepts in diagnosis and treatment. *World J Pediatr*. 2024;20(12):1209-22.
3. Ulloa-Gutierrez R, Hozbor D, Avila-Aguero ML, Echániz-Aviles G, Gentile A, Torres Torretti JP, Heininger U, Muloiwa R, Wirsing von König CH, Forsyth K, Tan TQ. Country-Specific Data and Priorities for Pertussis in Latin America: Recent Findings From the Global Pertussis Initiative. *Open Forum Infectious Diseases*. 2025;12(5):ofaf154.
4. Kardos P, Correia de Sousa J, Heininger U, Konstantopoulos A, MacIntyre CR, Middleton D, Nolan T, Papi A, Rendon A, Rizzo A, Sampson K, Sette A, Sobczyk E, Tan T, Weil-Olivier C. Understanding the impact of adult pertussis and current approaches to vaccination: A narrative review and expert panel recommendations. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*. 2024;20(1):2324547.
5. Skoff TH, Faulkner AE, Liang JL, Barnes M, Kudish K, Thomas E, Kenyon C, Hoffman M, Pradhan E, Liko J. Pertussis infections among pregnant women in the United States, 2012–2017. *Clinical Infectious Diseases*. 2021;73(11):e3836-e41.
6. Shi Q, Li J, Hu Q, Cheng C, Yang K, Li X, Song X, Chen S, Duan G. Efficacy, Immunogenicity, and Safety of Pertussis Vaccine During Pregnancy: A Meta-Analysis. *Vaccines (Basel)*. 2025;13(7).
7. MacIntyre CR, de Sousa JC, Heininger U, Kardos P, Konstantopoulos A, Middleton D, Nolan T, Papi A, Rendon A, Rizzo A, Sampson K, Sette A, Sobczyk E, Tan T, Weil-Olivier C. Public health management of pertussis in adults: Practical challenges and future strategies. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*. 2024;20(1):2377904.
8. Jenkins VA, Savic M, Kandeil W. Pertussis in High Risk Groups: An Overview of the Past Quarter Century. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*. 2020;16(11):2609-17.
9. Wang S, Zhang S, Liu J. Resurgence of pertussis: Epidemiological trends, contributing factors, challenges, and recommendations for vaccination and surveillance. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*. 2025;21(1):2513729.
10. Duda-Madej A, Łabaz J, Topola E, Bazan H, Viscardi S. Pertussis-A Re-Emerging Threat Despite Immunization: An Analysis of Vaccine Effectiveness and Antibiotic Resistance. *Int J Mol Sci*. 2025;26(19).
11. Dyer O. Whooping cough: Cases soar in US. *BMJ*. 2025;389:r704.
12. Sansone NMS, Boschiero MN, Marson FAL. The 2024 resurgence of *Bordetella pertussis* in Brazil and a decade-long epidemiological overview. *Front Public Health*. 2025;13:1549735.
13. Bakare EA, Mogbojuri OA, Oniyelu DO, Abidemi A, Daniel DO, Olasupo, II, Osikoya SA, Nwana AO, Olorunfemi RD, Olagbami SO. Time series modelling and forecasting of mpox incidence and mortality in Nigeria. *BMC Infect Dis*. 2025;25(1):794.
14. Anjos L, Neto B, Do Prado Assunção L. DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A TUBERCULOSIS CASE PREDICTION MODEL IN THE STATE OF GOIÁS (2025-2026) WITH A FOCUS ON COMPUTATIONAL PATHOLOGY. *International Journal of Health Science*. 2025;5:1-12.
15. Zhang Q, Yu H, Zhong J, Cheng W, Qi Y. Global, regional, and national burden of brain and central nervous system cancer: a systematic analysis of incidence, deaths, and DALYS

with predictions to 2040. *Int J Surg.* 2025;111(6):4033-8.

16. Hasan P, Khan TD, Alam I, Haque ME. Dengue in Tomorrow: Predictive Insights From ARIMA and SARIMA Models in Bangladesh: A Time Series Analysis. *Health Sci Rep.* 2024;7(12):e70276.
17. Schaffer AL, Dobbins TA, Pearson SA. Interrupted time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models: a guide for evaluating large-scale health interventions. *BMC Med Res Methodol.* 2021;21(1):58.
18. Peng PY, Duan HY, Xu L, Sun JQ, Ma LJ, Zu Y, Yan TL. A Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) forecasting model to predict the epidemic trends of scrub typhus in China. *PLoS One.* 2025;20(6):e0325905.
19. Rocha MS, Bartholomay P, Cavalcante MV, Medeiros Fd, Codenotti SB, Pelissari DM, Andrade KB, Silva GDMd, Arakaki-Sanchez D, Pinheiro RS. Notifiable Diseases Information System (SINAN): main features of tuberculosis notification and data analysis. *Epidemiologia e Serviços de Saúde.* 2020;29:e2019017.
20. Brasil CNDs. Resolução 510/2016 - Dispõe sobre a pesquisa em Ciências Humanas e Sociais . Brasil: Ministério da Saúde, Brasília, DF. 2016 [cited 2024]. Available from: <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/resolucoes/2016/resolucao-no-510.pdf/view>.
21. Stevens GA, Alkema L, Black RE, Boerma JT, Collins GS, Ezzati M, Grove JT, Hogan DR, Hogan MC, Horton R. Guidelines for accurate and transparent health estimates reporting: the GATHER statement. *The Lancet.* 2016;388(10062):e19-e23.
22. Brasil. Portaria de Consolidação nº 4, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre os sistemas e os subsistemas do Sistema Único de Saúde. Ministério da Saúde Brasília; 2017.
23. Team RS. RStudio: integrated development environment for R. (No Title). 2021.
24. do Anjos LRB, do Prado Assunção L. Algorithm with time series simulation versus auto-adjustment in R for predicting tuberculosis cases in Goiás. 2024.
25. Wang H, Liu X, Cao X, Liu J, Li W. Global tendency and frontiers of research on pertussis from 2000 to 2023: A bibliometric and visual analysis. *Hum Vaccin Immunother.* 2024;20(1):2392334.
26. Cousin VL, Caula C, Vignot J, Joye R, Blanc M, Marais C, Tissières P. Pertussis infection in critically ill infants: meta-analysis and validation of a mortality score. *Crit Care.* 2025;29(1):71.
27. Tian S, Chen Y, Su Q, Sun B, Lin Z, Long Y, Wang H, Liao C, Zhang Y, Zheng J, Chen L, Guan S, Wang S, Xu X, Ai J. Pertussis clinical profile shift, severity, prediction in a tertiary hospital: A comparative study before, during, and after COVID-19 in Southern China. *Journal of Infection and Public Health.* 2025;18(1):102610.
28. Jha AK, Mithun S, Sherkhane UB, Jaiswar V, Osong B, Purandare N, Kannan S, Prabhaskar K, Gupta S, Vanneste B, Rangarajan V, Dekker A, Wee L. Systematic review and meta-analysis of prediction models used in cervical cancer. *Artif Intell Med.* 2023;139:102549.
29. Saúde BMD. Coqueluche <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrjoiYTU3Mm15ZjltYmMyNC00ZTVjLTk2ZTltNWZlMjUxNDQwZmVliwidCI6IjhtNTU0YWZlLW1MmltNDg2Mi1hMzZmLTg0ZDg5MWU1YzcnNSj92025> [cited 2025/10/2025].
30. Koike M. Datasus: An Essential Tool for Public Health in Brazil. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia.* 2025;122(2).
31. Macina D, Evans KE. Bordetella pertussis in School-Age Children, Adolescents, and Adults: A Systematic Review of Epidemiology, Burden, and Mortality in Asia. *Infect Dis Ther.* 2021;10(3):1115-40.]
32. Saúde BMD. Situação epidemiológica da coqueluche, Brasil, 2015 Ministério da Saúde 2016 [cited 2016 2025]. Available from: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/c/coqueluche/arquivos/boletim-epidemiologico-da-coqueluche-brasil-2015.pdf/view>.
33. Ribeiro RMM, Mendes VA. Situación epidemiológica de tos ferina en el Distrito Federal entre 2007 y 2016. *Revista Bioética.* 2019;27:764-71.
34. Saúde BMD. NOTA TÉCNICA CONJUNTA Nº 70/2024-DPNI/SVSA/MS Ministério da Saúde 2024 [cited 2024 novembro de 2025]. Available from: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/notas-tecnicas/2024/nota-tecnica-conjunta-no-70-2024-dpni-svsa-ms.pdf>.
35. Fu P, Yan G, Li Y, Xie L, Ke Y, Qiu S, Wu S, Shi X, Qin J, Zhou J, Lu G, Yang C, Wang C. Pertussis upsurge, age shift and vaccine escape post-COVID-19 caused by *ptxP3* macrolide-resistant *Bordetella pertussis* MT28 clone in China. *Clinical Microbiology and Infection.* 2024;30(11):1439-46.
36. Saúde BMD. População Residente - Estudo de estimativas populacionais por município, idade e sexo de 2000 a 2025, no Brasil. Ministério da Saúde do Brasil 2025.
37. Carvalho D, Soares G. COBERTURA VACINAL CONTRA COQUELUCHE E A INCIDÊNCIA DE CASOS DA DOENÇA EM CRIANÇAS NO BRASIL (2022-2024). *Revista ft.* 2025;29:01-2.
38. Oliveira Ed, Moraes JCD, França AP, Silva Ald, Ramos Jr AN, Oliveira AdNM, Boing AF, Domingues CMAS, Oliveira CSd, Maciel ELN. Inquérito de cobertura vacinal segundo estrato

social em crianças até 24 meses de vida, em Londrina, Paraná, entre 2021 e 2022. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. 2024;33:e20231393.

39. Zhang Y, Milinovich G, Xu Z, Bambrick H, Mengersen K, Tong S, Hu W. Monitoring Pertussis Infections Using Internet Search Queries. *Sci Rep*. 2017;7(1):10437.

40. Wang Y, Xu C, Wang Z, Zhang S, Zhu Y, Yuan J. Time series modeling of pertussis incidence in China from 2004 to 2018 with a novel wavelet based SARIMA-NAR hybrid model. *PLoS One*. 2018;13(12):e0208404.

41. Wongkoon S, Jaroensutasinee M, Jaroensutasinee K. Assessing the temporal modelling for prediction of dengue infection in northern and northeastern, Thailand. 2012.

42. Midekisa A, Senay G, Henebry GM, Semuniguse P, Wimberly MC. Remote sensing-based time series models for malaria early warning in the highlands of Ethiopia. *Malaria journal*. 2012;11(1):165.

43. Ren H, Li J, Yuan Z-A, Hu J-Y, Yu Y, Lu Y-H. The development of a combined mathematical model to forecast the incidence of hepatitis E in Shanghai, China. *BMC infectious diseases*. 2013;13(1):421.

ENDEREÇO CORRESPONDÊNCIA

LAURA RANIERE BORGES DOS ANJOS

Avenida Marechal Floriano Peixoto nº 1194, Ap. 2, Centro, Ponta Porã /MS, Brasil.

E-mail: lauraranieri@gmail.com

EDITORIA E REVISÃO

Editores chefes:

Waldemar Naves do Amaral - <http://lattes.cnpq.br/4092560599116579> - <https://orcid.org/0000-0002-0824-1138>

Tárik Kassem Saidah - <http://lattes.cnpq.br/7930409410650712> - <https://orcid.org/0000-0003-3267-9866>

Autores:

Leandro do Prado Assunção - <http://lattes.cnpq.br/7697895734552647> - <https://orcid.org/0000-0002-1743-8151>

Benedito Rodrigues da Silva Neto - <http://lattes.cnpq.br/5082780010357040> - <https://orcid.org/0000-0001-5138-0750>

André Luís Elias Moreira - <http://lattes.cnpq.br/1631661623891188> - <https://orcid.org/0000-0001-9746-8344>

Larissa de Oliveira Rosa Marques - <http://lattes.cnpq.br/8093665238893969> - <https://orcid.org/0000-0001-8353-2122>

Igor Mendes Moreira de Oliveira - <http://lattes.cnpq.br/8641359440292849> - <https://orcid.org/0000-0002-5040-1676>

Antonia Aguiar Moreira Neta Lima - <http://lattes.cnpq.br/2612853231784910> - <https://orcid.org/0009-0000-7321-0648>

Laura Ranieri Borges dos Anjos - <http://lattes.cnpq.br/0200876009552257> - <https://orcid.org/0000-0001-7520-652X>

Revisão Bibliotecária: Izabella Goulart

Revisão Ortográfica: Dario Alvares

Tradução: Soledad Montalbetti Magri

Recebido: 23/02/26. Aceito: 26/02/26. Publicado em: 26/08/2026.