

Associação entre Cobertura Vacinal e Incidência de Doenças Imunopreveníveis no Brasil: Estudo Ecológico de Série Temporal com Dados das Unidades Federativas (2007–2024)

Association between Vaccination Coverage and Incidence of Vaccine-Preventable Diseases in Brazil: An Ecological Time Series Study with Data from Federative Units (2007–2024)

Asociación entre Cobertura Vacunal e Incidência de Enfermedades Inmunoprevenibles en Brasil: Estudio Ecológico de Serie Temporal con Datos de las Unidades Federativas (2007–2024)

Tainá Silva Secundino – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG),
tainasecundino@gmail.com

Carlos Eduardo Sampaio Fonseca – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Káren Arielle Carvalho Barreto, Co-orientadora

Resumo:

As vacinas constituem uma das principais estratégias de prevenção de doenças transmissíveis e têm desempenhado papel fundamental na redução da morbimortalidade por agravos imunopreveníveis. Entretanto, a redução das coberturas vacinais observada nos últimos anos no Brasil tem gerado preocupação quanto à possibilidade de reemergência de doenças anteriormente controladas. Este estudo ecológico longitudinal em painel avaliou a associação entre cobertura vacinal e incidência de coqueluche, meningite meningocócica, sarampo/rubéola e febre amarela nas unidades federativas brasileiras entre 2007 e 2024. Foram utilizados dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), do Sistema de Informações do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI) e estimativas populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A associação entre cobertura vacinal e incidência foi analisada por meio de modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos por unidade federativa, utilizando defasagem temporal de um ano entre exposição e desfecho e ajuste para tendência temporal linear e períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19. Foram analisadas 486 observações correspondentes às 27 unidades federativas brasileiras. Observou-se associação inversa estatisticamente significativa entre cobertura vacinal e incidência de coqueluche (IRR=0,9892; IC95%: 0,9887–0,9896), meningite meningocócica (IRR=0,9977; IC95%: 0,9968–0,9986), sarampo/rubéola (IRR=0,9866; IC95%: 0,9858–0,9875) e febre amarela (IRR=0,9573; IC95%: 0,9541–0,9607), todos com $p < 0,001$. Durante o período pandêmico observou-se redução significativa da incidência para todos os agravos analisados. Os achados reforçam a importância da manutenção de elevadas coberturas vacinais e do fortalecimento contínuo das ações de imunização e vigilância epidemiológica para o controle de doenças imunopreveníveis no Brasil.

Palavras-chave:

vacinação; cobertura vacinal; doenças imunopreveníveis; epidemiologia; saúde pública; vigilância epidemiológica.

Abstract:

Vaccination is one of the main strategies for the prevention of communicable diseases and has played a fundamental role in reducing morbidity and mortality from vaccine-preventable diseases. However, the decline in vaccination coverage observed in recent years in Brazil has raised concerns regarding the possible re-emergence of previously controlled diseases. This longitudinal ecological panel study evaluated the association between vaccination coverage and the incidence of pertussis, meningococcal meningitis, measles/rubella, and yellow fever across

Brazilian states from 2007 to 2024. Secondary data were obtained from the Notifiable Diseases Information System (SINAN), the National Immunization Program Information System (SI-PNI), and population estimates provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The association between vaccination coverage and disease incidence was assessed using fixed-effects Poisson regression models by state, incorporating a one-year lag between exposure and outcome, as well as adjustments for linear temporal trends and epidemiological periods related to the COVID-19 pandemic. A total of 486 observations corresponding to the 27 Brazilian states were analyzed. A statistically significant inverse association was observed between vaccination coverage and the incidence of pertussis (IRR=0.9892; 95%CI: 0.9887–0.9896), meningococcal meningitis (IRR=0.9977; 95%CI: 0.9968–0.9986), measles/rubella (IRR=0.9866; 95%CI: 0.9858–0.9875), and yellow fever (IRR=0.9573; 95%CI: 0.9541–0.9607), all with $p<0.001$. During the pandemic period, a significant reduction in incidence was observed for all diseases analyzed. These findings reinforce the importance of maintaining high vaccination coverage and continuously strengthening immunization and epidemiological surveillance activities to control vaccine-preventable diseases in Brazil.

Keywords:

vaccination; vaccination coverage; vaccine-preventable diseases; epidemiology; public health; time series.

Resumen:

La vacunación constituye una de las principales estrategias para la prevención de enfermedades transmisibles y ha desempeñado un papel fundamental en la reducción de la morbilidad y mortalidad por enfermedades inmunoprevenibles. Sin embargo, la disminución de las coberturas vacunales observada en los últimos años en Brasil ha generado preocupación por la posible reemergencia de enfermedades previamente controladas. Este estudio ecológico longitudinal de panel evaluó la asociación entre la cobertura vacunal y la incidencia de tos ferina, meningitis meningocócica, sarampión/rubéola y fiebre amarilla en las unidades federativas brasileñas entre 2007 y 2024. Se utilizaron datos secundarios del Sistema de Información de Agravios de Notificación (SINAN), del Sistema de Información del Programa Nacional de Inmunizaciones (SI-PNI) y estimaciones poblacionales del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). La asociación entre cobertura vacunal e incidencia fue analizada mediante modelos de regresión de Poisson con efectos fijos por unidad federativa, utilizando un desfase temporal de un año entre exposición y desenlace, además de ajustes por tendencia temporal lineal y períodos epidemiológicos relacionados con la pandemia de COVID-19. Se analizaron 486 observaciones correspondientes a las 27 unidades federativas brasileñas. Se observó una asociación inversa estadísticamente significativa entre la cobertura vacunal y la incidencia de tos ferina (IRR=0,9892; IC95%: 0,9887–0,9896), meningitis meningocócica (IRR=0,9977; IC95%: 0,9968–0,9986), sarampión/rubéola (IRR=0,9866; IC95%: 0,9858–0,9875) y fiebre amarilla (IRR=0,9573; IC95%: 0,9541–0,9607), todos con $p<0,001$. Durante el período pandémico se observó una reducción significativa de la incidencia para todas las enfermedades analizadas. Los hallazgos refuerzan la importancia de mantener elevadas coberturas vacunales y fortalecer continuamente las acciones de inmunización y vigilancia epidemiológica para el control de enfermedades inmunoprevenibles en Brasil.

Palabras clave:

vacunación; cobertura vacunal; enfermedades inmunoprevenibles; epidemiología; salud pública; vigilancia epidemiológica.

Introdução e Marco Teórico

A imunização é reconhecida como uma das estratégias de saúde pública mais efetivas para a prevenção de doenças infecciosas, redução da morbimortalidade e aumento da expectativa de vida da população. No Brasil, a criação do Programa Nacional de Imunizações (PNI), em 1973, permitiu a expansão do acesso às vacinas e contribuiu para o controle, eliminação ou redução expressiva da incidência de diversos agravos imunopreveníveis. Ao longo das últimas décadas, o programa tornou-se uma das principais políticas públicas do Sistema Único de Saúde (SUS), alcançando elevadas coberturas vacinais e produzindo impacto significativo sobre indicadores de saúde infantil e doenças transmissíveis.^{8,15}

Apesar dos avanços obtidos, estudos recentes têm demonstrado uma tendência de redução das coberturas vacinais no Brasil, particularmente a partir da década de 2010. Esse fenômeno tem sido atribuído a múltiplos fatores, incluindo dificuldades de acesso aos serviços de saúde, desigualdades regionais, problemas operacionais relacionados aos sistemas de informação, diminuição da percepção de risco das doenças imunopreveníveis e crescimento da hesitação vacinal.¹ Durante a pandemia de COVID-19, observou-se agravamento desse cenário, com redução importante das coberturas vacinais em diferentes regiões do país, especialmente para imunobiológicos do calendário infantil.⁷

A diminuição das coberturas vacinais tem despertado preocupação devido ao potencial de reemergência de doenças anteriormente controladas. O sarampo constitui um exemplo emblemático desse processo. Após receber da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) a certificação de eliminação da circulação endêmica do vírus em 2016, o Brasil voltou a registrar transmissão sustentada da doença a partir de 2018, culminando na perda do status de eliminação do sarampo em 2019, após a manutenção da transmissão endêmica por período superior a 12 meses. Entre os fatores associados a esse cenário destacam-se a redução das coberturas vacinais e a formação de bolsões populacionais suscetíveis à infecção. Entretanto, após a implementação de estratégias de intensificação da vigilância epidemiológica e recuperação das coberturas vacinais, o país voltou a obter, em 2024, a recertificação da eliminação do sarampo pela OPAS, demonstrando a relevância da manutenção de elevadas coberturas vacinais e da vigilância contínua para o controle sustentável da doença.^{4,10}

Além do sarampo, outras doenças imunopreveníveis continuam representando importantes desafios para a vigilância epidemiológica brasileira. A coqueluche permanece associada a surtos periódicos e maior gravidade em crianças pequenas, enquanto a meningite meningocócica apresenta elevada letalidade e potencial para ocorrência de surtos. Já a febre

amarela possui dinâmica epidemiológica distinta, relacionada à circulação silvestre do vírus, à presença de vetores e a fatores ambientais que influenciam sua ocorrência. Dessa forma, a manutenção de elevadas coberturas vacinais permanece como estratégia fundamental para redução do risco de adoecimento e controle desses agravos.¹¹

A pandemia de COVID-19 introduziu ainda desafios adicionais para a interpretação dos indicadores epidemiológicos. Além da redução observada nas coberturas vacinais, alterações no acesso aos serviços de saúde, mudanças na procura por atendimento, reorganização das atividades de vigilância e medidas de distanciamento social podem ter influenciado a notificação de diversas doenças transmissíveis. Consequentemente, torna-se relevante avaliar não apenas a evolução das coberturas vacinais, mas também sua associação com a incidência dos agravos ao longo do tempo, considerando as importantes transformações epidemiológicas observadas antes, durante e após a pandemia de COVID-19.^{2,14}

Apesar da ampla disponibilidade de dados provenientes dos sistemas nacionais de informação em saúde, permanecem relevantes estudos que explorem a associação entre cobertura vacinal e incidência de doenças imunopreveníveis ao longo do tempo, especialmente utilizando abordagens analíticas capazes de considerar a estrutura longitudinal dos dados e controlar heterogeneidades regionais ao longo do tempo.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar a associação entre cobertura vacinal e incidência de coqueluche, meningite meningocócica, sarampo/rubéola e febre amarela utilizando dados agregados das unidades federativas brasileiras entre 2007 e 2024.

Material e Método

Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo ecológico longitudinal em painel, baseado em dados secundários agregados por unidade federativa (UF) do Brasil, abrangendo o período de 2007 a 2024. O objetivo foi avaliar a associação entre cobertura vacinal e incidência de doenças imunopreveníveis no país. A unidade de análise foi composta pela combinação entre UF e ano-calendário.

Fonte de dados

Os dados foram obtidos a partir de bases públicas do Ministério da Saúde, disponíveis por meio do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), utilizando o sistema TabNet. Foram utilizadas as seguintes bases:

- Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), para obtenção dos casos confirmados de doenças;
- Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI), para dados de cobertura vacinal;
- Estimativas populacionais intercensitárias do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizadas para cálculo das taxas e como denominador nos modelos estatísticos.
-

População e período de estudo

Foram incluídos dados referentes às 27 unidades federativas brasileiras no período de 2007 a 2024.

As análises referentes à coqueluche, meningite meningocócica e sarampo/rubéola utilizaram como denominador a população menor de cinco anos, considerando o perfil epidemiológico predominantemente pediátrico desses agravos e o fato de suas respectivas estratégias de imunização integrarem o calendário vacinal infantil de rotina. Para febre amarela, utilizou-se a população total das unidades federativas brasileiras, devido ao padrão epidemiológico mais amplo da doença, associado à circulação silvestre do vírus e à exposição populacional em áreas de risco.

Os modelos foram ajustados por meio de termo offset correspondente ao logaritmo da população de referência, permitindo estimativa das razões de incidência ajustadas às diferenças populacionais entre as unidades federativas e os períodos analisados.

Variáveis do estudo

Variáveis dependentes

Foram analisados os seguintes agravos imunopreveníveis: Coqueluche; Meningite meningocócica; Sarampo/rubéola (agravos exantemáticos); Febre amarela. No caso de meningite, foram incluídos exclusivamente casos classificados como meningite meningocócica conforme classificação final registrada no SINAN. Os dados de sarampo e rubéola foram analisados de forma agregada devido à disponibilidade dos registros no sistema de informação, que agrupa os agravos exantemáticos, impossibilitando sua separação consistente ao longo de toda a série histórica. Os desfechos foram considerados na forma de contagem anual de casos por unidade federativa.

Variáveis independentes

As principais variáveis explicativas foram as coberturas vacinais anuais para as seguintes vacinas do calendário nacional: Vacina meningocócica C (associada à meningite meningocócica); Vacina tríplice viral (associada a sarampo e rubéola); Vacina contra febre amarela; e Vacina pentavalente (associada à prevenção da coqueluche). Quanto à imunização contra coqueluche, foram utilizados dados da vacina tetravalente até 2011 e da vacina pentavalente a partir de 2012, em virtude da substituição da vacina no calendário nacional de imunização.

A cobertura vacinal foi expressa em percentual (%), conforme cálculo padronizado do SI-PNI:

$$\text{Cobertura vacinal (\%)} = (\text{Número de doses aplicadas} \div \text{População-alvo}) \times 100$$

Tratamento e padronização dos dados

Os dados foram agregados por unidade federativa de residência e ano-calendário. Foram utilizadas estimativas populacionais intercensitárias do IBGE para padronização das análises e cálculo das taxas. Para considerar possíveis efeitos tardios da cobertura vacinal sobre a incidência das doenças, foram construídas variáveis de cobertura vacinal com defasagem temporal de um ano (lag de 1 ano).

Além disso, foi criada uma variável categórica representando períodos epidemiológicos distintos:

- Período 1: 2007–2019 (pré-pandemia)
- Período 2: 2020–2022 (período pandêmico)
- Período 3: 2023–2024 (período pós-pandêmico)

Essa categorização foi utilizada para avaliar possíveis alterações na notificação de casos e na dinâmica epidemiológica durante e após a pandemia de COVID-19.

Adicionalmente, foi construída uma variável contínua de tendência temporal linear, representando a progressão cronológica da série histórica, com o objetivo de controlar tendências seculares independentes da cobertura vacinal.

A estrutura final dos bancos consistiu em dados em painel contendo 486 observações (27 unidades federativas \times 18 anos) para cada agravo analisado.

Análise estatística

Análises descritivas foram inicialmente realizadas por meio do cálculo de medidas de tendência central e dispersão, bem como pela construção de gráficos de séries temporais para incidência e cobertura vacinal.

A associação entre cobertura vacinal e incidência dos agravos foi avaliada por modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos para unidade federativa, apropriados para dados longitudinais em painel com desfechos em contagem. O logaritmo da população de referência foi incluído como termo offset para ajuste das diferenças populacionais entre as unidades analisadas.

As coberturas vacinais foram incorporadas aos modelos com defasagem temporal de um ano (lag de 1 ano), considerando a plausibilidade biológica entre exposição vacinal e ocorrência subsequente dos agravos.

Além da cobertura vacinal, os modelos foram ajustados para tendência temporal linear e para períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19, classificados como pré-pandêmico (2007–2019), pandêmico (2020–2022) e pós-pandêmico (2023–2024).

Os resultados foram apresentados como razões de taxas de incidência (Incidence Rate Ratios – IRR), acompanhadas de intervalos de confiança de 95%. Todas as análises foram realizadas no software Stata versão 16.1, adotando-se nível de significância estatística de 5%.

Aspectos éticos

Por se tratar de estudo baseado exclusivamente em dados secundários de domínio público, agregados e sem identificação individual, o estudo está dispensado de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa, conforme a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

Limitações

O presente estudo possui limitações inerentes ao delineamento ecológico, não permitindo inferências causais em nível individual e estando sujeito à possibilidade de falácia ecológica. Dessa forma, associações observadas entre cobertura vacinal e incidência de doenças imunopreveníveis devem ser interpretadas no contexto populacional, não podendo ser extrapoladas diretamente para indivíduos.

Além disso, os dados utilizados derivam de sistemas secundários de informação em saúde, estando potencialmente sujeitos a subnotificação, inconsistências de registro, atrasos na atualização das bases e diferenças na qualidade da vigilância epidemiológica entre as unidades federativas e ao longo do período estudado.

As estimativas de cobertura vacinal provenientes do Sistema de Informações do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI) podem apresentar imprecisões decorrentes de inconsistências nos denominadores populacionais, migração de indivíduos entre municípios para vacinação e registros administrativos incompletos, podendo resultar em coberturas superiores a 100% em determinados contextos.

Outra limitação refere-se à análise conjunta de sarampo e rubéola. Embora ambas as doenças compartilhem a mesma estratégia de imunização por meio da vacina tríplice viral, não foi possível obter séries históricas padronizadas e comparáveis que permitissem a separação consistente dos casos ao longo de todo o período analisado. Assim, os agravos foram avaliados de forma agregada, o que pode mascarar diferenças epidemiológicas específicas entre as duas doenças.

No caso da coqueluche, a série histórica de cobertura vacinal exigiu a compatibilização de dados provenientes de diferentes vacinas do calendário infantil, considerando a utilização da vacina tetravalente nos anos anteriores à introdução da vacina pentavalente. Embora essa

estratégia tenha permitido a continuidade temporal da análise, eventuais diferenças operacionais entre os imunobiológicos podem influenciar parcialmente a comparabilidade das estimativas ao longo da série.

Adicionalmente, a dinâmica epidemiológica da febre amarela apresenta características distintas das demais doenças analisadas, uma vez que sua ocorrência depende não apenas da cobertura vacinal humana, mas também de fatores ecológicos, ambientais e entomológicos relacionados ao ciclo silvestre do vírus. Dessa forma, a cobertura vacinal isoladamente pode não ser suficiente para explicar toda a variabilidade observada na incidência da doença.

Por fim, a pandemia de COVID-19 provavelmente impactou simultaneamente os sistemas de vigilância epidemiológica, a busca por serviços de saúde, as atividades de imunização de rotina e a circulação dos agentes infecciosos, podendo ter influenciado tanto a notificação dos casos quanto os indicadores de cobertura vacinal observados entre 2020 e 2022. Embora tenham sido realizados ajustes para os diferentes períodos epidemiológicos, não é possível excluir completamente a influência desse fenômeno sobre os resultados encontrados.

Considerações sobre a reprodutibilidade

A reprodução deste estudo é viável por meio do acesso às bases públicas disponibilizadas pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizando os mesmos critérios de extração, agregação por unidade federativa e ano-calendário e processamento dos dados adotados nesta pesquisa.

Todas as etapas analíticas foram realizadas de forma padronizada, incluindo a obtenção dos registros de casos e coberturas vacinais, a organização dos bancos em estrutura de painel, a incorporação das estimativas populacionais, a construção das variáveis de cobertura vacinal com defasagem temporal de um ano, a definição dos períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19 e a aplicação dos modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos para unidade federativa.

As análises foram conduzidas no software Stata versão 16.1 e podem ser reproduzidas mediante a utilização dos mesmos critérios metodológicos e parâmetros estatísticos descritos neste estudo.

Entretanto, atualizações periódicas das bases do DATASUS, revisões retrospectivas dos registros e eventuais alterações nos sistemas de informação podem resultar em pequenas diferenças nos valores observados em coletas realizadas em momentos distintos.



Adicionalmente, limitações inerentes aos sistemas de vigilância epidemiológica, como subnotificação, atraso na consolidação dos dados e inconsistências de registro, devem ser consideradas na interpretação e reprodução dos resultados.

Resultados e discussão

Foram analisadas 486 observações correspondentes às 27 unidades federativas brasileiras no período de 2007 a 2024. A base de dados incluiu registros anuais de incidência de coqueluche, meningite meningocócica, sarampo/rubéola e febre amarela, bem como as respectivas coberturas vacinais utilizadas nos modelos analíticos.

A Tabela 1 apresenta as características descritivas das variáveis analisadas. Observou-se heterogeneidade importante entre os agravos em relação ao número de casos registrados e às coberturas vacinais. A maior média de casos foi observada para sarampo/rubéola (193,95 casos por unidade federativa-ano), enquanto a febre amarela apresentou a menor média (4,99 casos), com mediana igual a zero, evidenciando elevada frequência de observações sem registros da doença. As coberturas vacinais também apresentaram comportamento distinto entre os imunobiológicos analisados, variando de média de 57,55% para febre amarela a 95,03% para a vacina tríplice viral.

A análise das séries temporais demonstrou variações importantes na incidência das doenças ao longo do período estudado. De modo geral, observou-se redução progressiva da incidência de alguns agravos até meados da década de 2010, seguida por oscilações nos anos subsequentes. Entre 2020 e 2022, período correspondente à pandemia de COVID-19, verificou-se redução acentuada dos casos notificados de coqueluche, meningite meningocócica e sarampo/rubéola, concomitantemente à redução das coberturas vacinais observadas em diversas unidades federativas. Após 2022, observou-se recuperação gradual das coberturas vacinais e retomada parcial dos níveis de incidência para alguns agravos.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos casos notificados e das coberturas vacinais das doenças imunopreveníveis analisadas, Brasil, 2007–2024.

Variável	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo
Casos de coqueluche	62,63	145,59	16,5	0	1.624
Cobertura pentavalente (%)	85,54	19,64	90,13	6,05	140,25
Casos de meningite meningocócica	14,26	45,91	3,0	0	572
Cobertura meningocócica C (%)	83,83	23,67	88,30	0,22	148,87
Casos de sarampo/rubéola	193,95	761,72	48,0	0	15.414
Cobertura tríplice viral (%)	95,03	13,08	95,67	52,54	146,88
Casos de febre amarela	4,99	42,12	0,0	0	520
Cobertura febre amarela (%)	57,55	36,48	68,92	0,05	132,73

Apresentam-se média, desvio-padrão (DP), mediana, valores mínimos e máximos dos casos notificados e das coberturas vacinais para coqueluche, meningite meningocócica, sarampo/rubéola e febre amarela. Os dados foram agregados por unidade federativa e ano-calendário. Coberturas vacinais superiores a 100% refletem discrepâncias entre numeradores e denominadores populacionais estimados pelos sistemas de informação.

Nos modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos para unidade federativa, ajustados para tendência temporal linear e períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19, observou-se associação inversa estatisticamente significativa entre cobertura vacinal e incidência de coqueluche (Tabela 2).

Tabela 2. Associação entre cobertura vacinal e incidência de doenças imunopreveníveis no Brasil segundo modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos por unidade federativa, ajustados por tendência temporal e período pandêmico, 2007–2024.

Variável	Coqueluche IRR (IC95%)	Meningite meningo- cócica IRR (IC95%)	Sarampo/rub éola IRR (IC95%)	Febre amarela IRR (IC95%)
Cobertura va- cinal (lag 1 ano)	0,9892 (0,9887–0,9896) ***	0,9977 (0,9968–0,9986)***	0,9866 (0,9858–0,987 5)***	0,9573 (0,9541–0,960 7)***
Tendência temporal (tempo)	1,0005 (0,9969–1,0041)	0,8724 (0,8606–0,8844)***	1,0428 (1,0403–1,045 2)***	1,8262 (1,7751–1,878 9)***
Pandemia (2020–2022)	0,0674 (0,0615–0,0737) ***	0,5888 (0,5088–0,6815)***	0,3116 (0,3031–0,320 3)***	0,0031 (0,0021–0,004 4)***
Pós-pandemia (2023–2024)	0,4594 (0,4342–0,4859) ***	1,4861 (1,2599–1,7528)***	0,1447 (0,1387–0,150 9)***	0,0005 (0,0003–0,000 9)***

*** p < 0,001.

Modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos por unidade federativa e offset correspondente ao logaritmo da população. As coberturas vacinais foram incorporadas com defasagem temporal de um ano (lag 1). Os modelos foram ajustados para tendência temporal linear e para períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19. Para coqueluche, meningite meningocócica e sarampo/rubéola utilizou-se população menor de 5 anos; para febre amarela, população total. IRR: Incidence Rate Ratio; IC95%: intervalo de confiança de 95%.

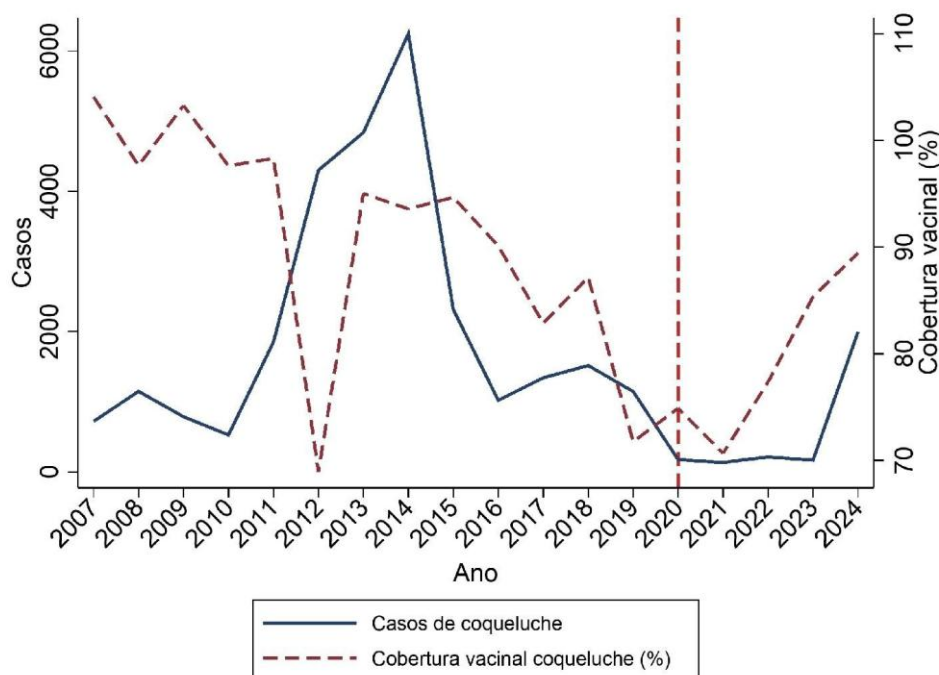
Nos modelos de regressão de Poisson com efeitos fixos para unidade federativa, ajustados para tendência temporal linear e períodos epidemiológicos relacionados à pandemia de COVID-19, observou-se associação inversa estatisticamente significativa entre cobertura vacinal e incidência de coqueluche (Tabela 2).

O aumento da cobertura vacinal contra coqueluche no ano anterior esteve associado à redução da incidência da doença (IRR=0,9892; IC95%: 0,9887–0,9896; $p<0,001$). Esse resultado indica que cada incremento de um ponto percentual na cobertura vacinal esteve associado a uma redução aproximada de 1,1% na incidência da doença. Não foi observada tendência temporal independente significativa após o ajuste pelas demais variáveis do modelo (IRR=1,0005; $p=0,774$). Esses achados sugerem que a redução observada na incidência da coqueluche ao longo da série histórica esteve mais relacionada às variações da cobertura vacinal e às alterações ocorridas durante o período pandêmico do que a uma tendência temporal secular independente.

Durante o período pandêmico (2020–2022), observou-se redução expressiva da incidência da doença em relação ao período pré-pandêmico (IRR=0,0674; IC95%: 0,0615–0,0737; $p<0,001$). No período pós-pandêmico (2023–2024), verificou-se aumento relativo da incidência (IRR=0,4594; IC95%: 0,4342–0,4859; $p<0,001$), embora os níveis tenham permanecido substancialmente inferiores aos observados antes da pandemia.

Os achados observados são compatíveis com o conhecimento epidemiológico atual sobre a doença. Apesar de a imunidade induzida pela vacinação diminuir ao longo do tempo, elevadas coberturas vacinais na população infantil permanecem fundamentais para reduzir a circulação da *Bordetella pertussis* e proteger grupos mais vulneráveis, especialmente lactentes ainda não completamente imunizados.^{5,6} A associação inversa observada neste estudo reforça a importância da manutenção de altas coberturas vacinais para o controle populacional da coqueluche.

Figura 1. Tendência temporal da incidência de coqueluche e da cobertura vacinal contra coqueluche no Brasil, 2007–2024.



Evolução anual dos casos notificados de coqueluche (eixo esquerdo) e da cobertura vacinal contra coqueluche (eixo direito). A linha vertical tracejada indica o início da pandemia de COVID-19 (2020). A cobertura vacinal foi representada pela vacina tetravalente nos anos anteriores à introdução da vacina pentavalente e, posteriormente, pela cobertura da vacina pentavalente.

Resultado semelhante foi observado para meningite meningocócica. A cobertura da vacina meningocócica C no ano anterior apresentou associação inversa e estatisticamente significativa com a incidência da doença (IRR=0,9977; IC95%: 0,9968–0,9986; $p < 0,001$). Esse resultado indica que cada incremento de um ponto percentual na cobertura vacinal esteve associado a uma redução aproximada de 0,23% na incidência da meningite meningocócica.

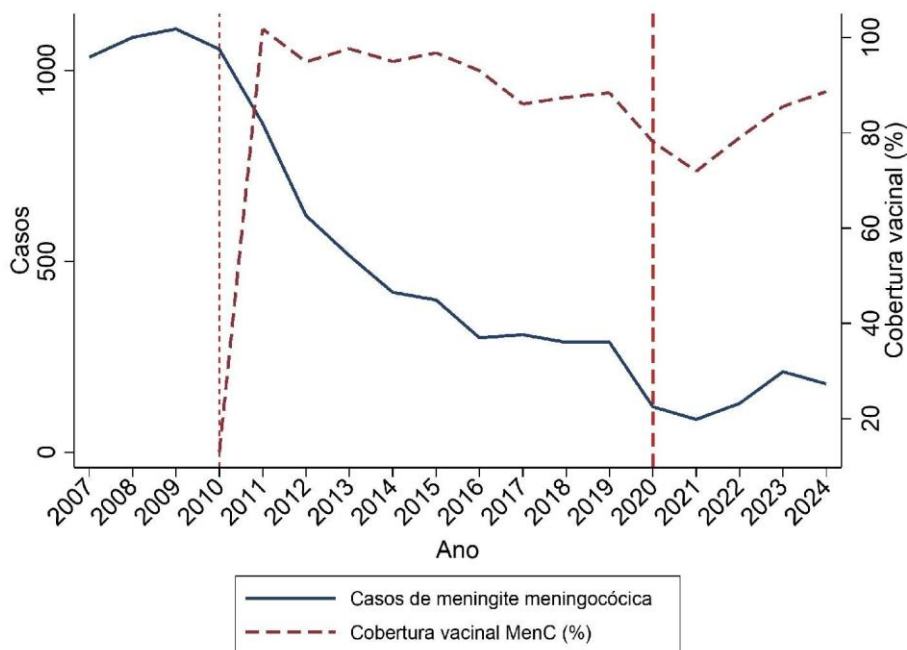
Além da associação observada com a cobertura vacinal, verificou-se importante tendência temporal independente de redução da incidência ao longo da série histórica (IRR=0,872; IC95%: 0,861–0,884; $p < 0,001$), sugerindo que fatores adicionais relacionados à vigilância epidemiológica, à imunidade coletiva e às mudanças no perfil de circulação do agente podem ter contribuído para o declínio da doença no período estudado.

Durante o período pandêmico (2020–2022), a incidência permaneceu significativamente inferior à observada no período pré-pandêmico (IRR=0,589), enquanto no período pós-

pandêmico (2023–2024) verificou-se aumento relativo da incidência (IRR=1,486), embora sem retorno aos níveis historicamente observados nas primeiras décadas da série.

Os resultados encontrados são compatíveis com evidências nacionais e internacionais que demonstram o impacto da vacinação meningocócica na redução da carga da doença. A diminuição sustentada da incidência observada ao longo da série temporal sugere que a ampliação da cobertura vacinal contribuiu para o controle populacional da meningite meningocócica, reduzindo a circulação do agente infeccioso e beneficiando inclusive indivíduos não vacinados por meio da proteção indireta. Esse padrão também pode ser visualizado na Figura 2, que demonstra redução consistente da incidência após a introdução da vacina meningocócica C no calendário nacional. O comportamento observado é consistente com o impacto descrito após a introdução de vacinas conjugadas meningocócicas em diversos países.¹³

Figura 2. Tendência temporal da incidência de meningite meningocócica e da cobertura vacinal da vacina meningocócica C no Brasil, 2007–2024.



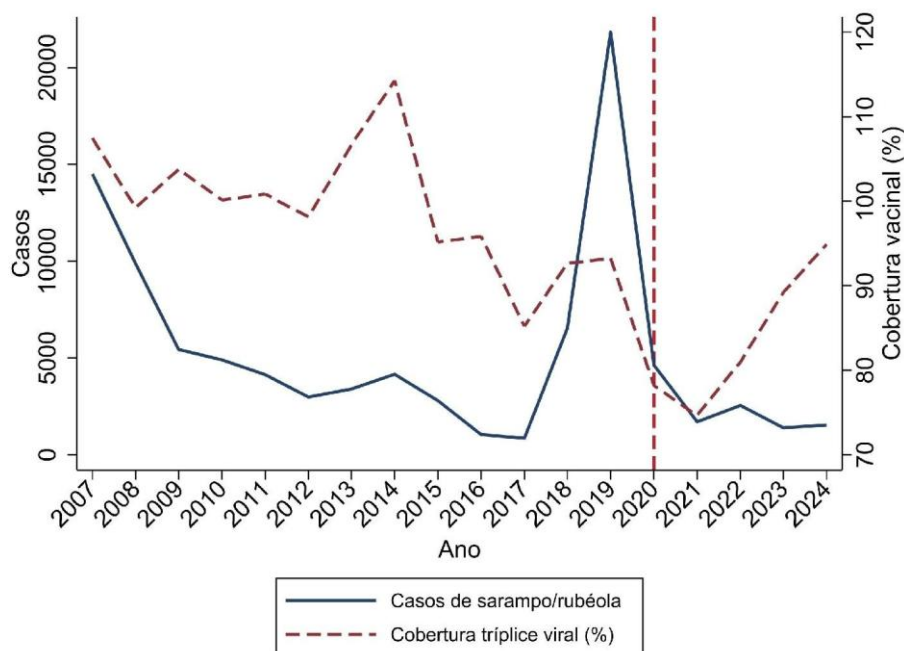
Evolução anual dos casos notificados de meningite meningocócica (eixo esquerdo) e da cobertura vacinal da vacina meningocócica C (eixo direito). A linha vertical contínua indica a introdução da vacina meningocócica C no Calendário Nacional de Vacinação em 2010. A linha vertical tracejada indica o início da pandemia de COVID-19 (2020).

Para sarampo/rubéola, também foi observada associação inversa estatisticamente significativa entre cobertura vacinal e incidência da doença. O aumento da cobertura da vacina tríplice viral no ano anterior esteve associado à redução da incidência dos agravos (IRR=0,9866; IC95%: 0,9858–0,9875; $p<0,001$), indicando que cada incremento de um ponto percentual na cobertura vacinal esteve associado a uma redução aproximada de 1,3% na incidência.

Observou-se ainda tendência temporal independente de aumento da incidência ao longo da série histórica (IRR=1,0428; IC95%: 1,0403–1,0452; $p<0,001$). Durante o período pandêmico (2020–2022), verificou-se redução expressiva dos casos notificados (IRR=0,3116; IC95%: 0,3031–0,3203; $p<0,001$), mantendo-se níveis ainda inferiores aos observados no período pré-pandêmico durante o período pós-pandêmico (2023–2024) (IRR=0,1447; IC95%: 0,1387–0,1509; $p<0,001$).

A associação observada entre maiores coberturas vacinais e menores incidências possui especial relevância em razão da elevada transmissibilidade desses agravos. Pequenas reduções na cobertura vacinal podem resultar em aumento do contingente de indivíduos suscetíveis, favorecendo a ocorrência de surtos e a reintrodução da circulação viral. A tendência temporal crescente observada no modelo é compatível com os episódios de recrudescimento do sarampo registrados no Brasil após a perda do certificado de eliminação da doença, evidenciando a vulnerabilidade da população diante da redução sustentada das coberturas vacinais. Os resultados encontrados reforçam a importância da manutenção de coberturas homogêneas e elevadas ao longo do tempo, especialmente diante dos episódios recentes de reintrodução da circulação viral observados no Brasil e em outros países das Américas.^{10, 16}

Figura 3. Tendência temporal da incidência de sarampo/rubéola e da cobertura vacinal da tríplice viral no Brasil, 2007–2024.



Evolução anual dos casos notificados de sarampo/rubéola (eixo esquerdo) e da cobertura vacinal da vacina tríplice viral (eixo direito). Observa-se redução progressiva da cobertura vacinal ao longo da série temporal, seguida por recrudescimento da incidência associado aos episódios de reintrodução da circulação do vírus do sarampo no país. A linha vertical tracejada indica o início da pandemia de COVID-19 (2020).

Para febre amarela, também foi observada associação inversa estatisticamente significativa entre cobertura vacinal e incidência da doença. O aumento da cobertura vacinal no ano anterior esteve associado à redução da incidência de febre amarela (IRR=0,9573; IC95%: 0,9541–0,9607; $p < 0,001$), indicando que cada incremento de um ponto percentual na cobertura vacinal esteve associado a uma redução aproximada de 4,3% na incidência da doença.

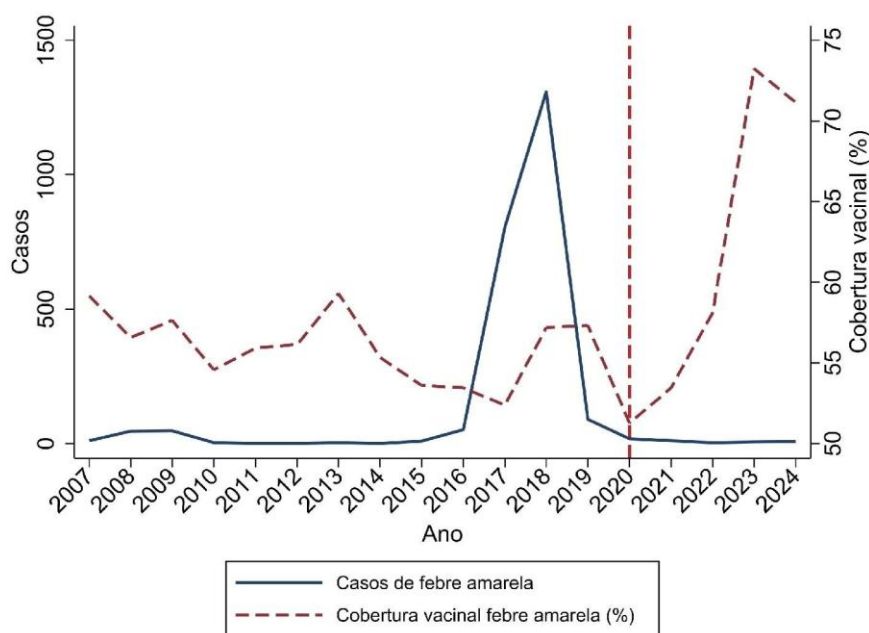
Observou-se ainda forte tendência temporal de aumento da incidência ao longo da série histórica (IRR=1,8262; IC95%: 1,7751–1,8789; $p < 0,001$). Em contrapartida, verificou-se redução expressiva da incidência durante o período pandêmico (2020–2022) (IRR=0,0031; IC95%: 0,0021–0,0044; $p < 0,001$), mantendo-se níveis extremamente baixos também no período pós-pandêmico (2023–2024) (IRR=0,0005; IC95%: 0,0003–0,0009; $p < 0,001$).

A interpretação desses resultados requer cautela. Diferentemente das demais doenças analisadas, a dinâmica epidemiológica da febre amarela é fortemente influenciada por fatores ecológicos, ambientais e entomológicos, incluindo a circulação viral em primatas não humanos, a distribuição geográfica dos vetores e a ocorrência de epizootias. Dessa forma, a incidência

observada não depende exclusivamente da cobertura vacinal da população humana, mas também da dinâmica natural dos ciclos silvestres da doença.^{3,9}

Adicionalmente, 11 unidades federativas foram excluídas automaticamente do modelo de efeitos fixos por não apresentarem casos registrados de febre amarela durante todo o período analisado. Esse achado evidencia a distribuição espacial heterogênea da doença no território brasileiro e reforça a necessidade de interpretar os resultados à luz de sua epidemiologia particular. Ainda assim, a associação inversa observada sugere que a manutenção de elevadas coberturas vacinais permanece fundamental para reduzir o risco de ocorrência de surtos em áreas suscetíveis.

Figura 4. Tendência temporal da incidência de febre amarela e da cobertura vacinal contra febre amarela no Brasil, 2007–2024.



Evolução anual dos casos notificados de febre amarela (eixo esquerdo) e da cobertura vacinal contra febre amarela (eixo direito). Observam-se períodos prolongados de baixa incidência intercalados por surtos concentrados em anos específicos, refletindo o caráter episódico e espacialmente heterogêneo da doença. A linha vertical tracejada indica o início da pandemia de COVID-19 (2020).

Outro aspecto relevante refere-se ao impacto da pandemia de COVID-19 sobre os indicadores analisados. Em todas as doenças avaliadas, observou-se redução significativa da incidência durante o período pandêmico, mesmo diante da queda concomitante das coberturas vacinais. Esse padrão sugere que fatores externos à dinâmica habitual das doenças podem ter

influenciado os resultados observados. Medidas de distanciamento social, redução da mobilidade populacional, mudanças na busca por atendimento médico, alterações na circulação de agentes infecciosos e possíveis modificações nos processos de vigilância epidemiológica provavelmente contribuíram para a diminuição da notificação de doenças transmissíveis durante esse período pandêmico.^{2,14} Assim, os resultados referentes aos anos de 2020 a 2022 devem ser interpretados considerando esse contexto epidemiológico excepcional.

De forma geral, as análises demonstraram associação inversa entre cobertura vacinal e incidência para todas as doenças avaliadas, mesmo após ajuste para tendência temporal e períodos epidemiológicos relacionados à pandemia. Os resultados reforçam a importância da manutenção de elevadas coberturas vacinais para o controle de doenças imunopreveníveis e evidenciam a influência de eventos populacionais de grande magnitude, como a pandemia de COVID-19, sobre os indicadores de vigilância em saúde. Os resultados completos dos modelos de regressão encontram-se apresentados na Tabela 2.

Conclusão

Este estudo demonstrou que maiores coberturas vacinais estiveram associadas à menor incidência de doenças imunopreveníveis no Brasil entre 2007 e 2024, reforçando a relevância dos programas de imunização como estratégia fundamental para a proteção da saúde coletiva.

Os achados evidenciam que a redução das coberturas vacinais observada nos últimos anos representa um risco concreto para a reemergência de agravos previamente controlados, destacando a necessidade de fortalecimento das ações de vacinação de rotina, da vigilância epidemiológica e das estratégias voltadas à ampliação do acesso e da adesão às vacinas.

Além de seu impacto para a prática em saúde pública, o estudo demonstra a utilidade dos sistemas nacionais de informação para o monitoramento de tendências epidemiológicas e para a avaliação de políticas de imunização em larga escala. A manutenção de coberturas vacinais elevadas e homogêneas permanece um dos principais desafios e, ao mesmo tempo, uma das medidas mais efetivas para a prevenção de doenças imunopreveníveis no país.



Referências

Arroyo LH, Ramos ACV, Yamamura M, Weiller TH, Crispim JA, Cartagena-Ramos D, Fuentealba-Torres M, Santos DTD, Palha PF, Arcêncio RA. Áreas com queda da cobertura vacinal para BCG, poliomielite e tríplice viral no Brasil (2006-2016): mapas da heterogeneidade regional [Areas with declining vaccination coverage for BCG, poliomyelitis, and MMR in Brazil (2006-2016): maps of regional heterogeneity]. *Cad Saude Publica*. 2020 Apr 6;36(4):e00015619. Portuguese. doi: 10.1590/0102-311X00015619. PMID: 32267382.

Bramer CA, Kimmins LM, Swanson R, Kuo J, Vranesich P, Jacques-Carroll LA, Shen AK. Decline in Child Vaccination Coverage During the COVID-19 Pandemic - Michigan Care Improvement Registry, May 2016-May 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2020 May 22;69(20):630-631. doi: 10.15585/mmwr.mm6920e1. PMID: 32437340.

Brasil. Ministério da Saúde. *Programa Nacional de Imunizações: 50 anos*. Brasília: Ministério da Saúde; 2023.

Brasil. Ministério da Saúde. *Situação epidemiológica do sarampo no Brasil*. Brasília: Ministério da Saúde; 2022.

Cherry JD. Epidemic pertussis in 2012--the resurgence of a vaccine-preventable disease. *N Engl J Med*. 2012 Aug 30;367(9):785-7. doi: 10.1056/NEJMp1209051. Epub 2012 Aug 15. PMID: 22894554.

Clark TA. Changing pertussis epidemiology: everything old is new again. *J Infect Dis*. 2014 Apr 1;209(7):978-81. doi: 10.1093/infdis/jiu001. PMID: 24626532.

Moura C, Truche P, Sousa Salgado L, Meireles T, Santana V, Buda A, Bentes A, Botelho F, Mooney D. The impact of COVID-19 on routine pediatric vaccination delivery in Brazil. *Vaccine*. 2022 Apr 1;40(15):2292-2298. doi: 10.1016/j.vaccine.2022.02.076. Epub 2022 Mar 1. PMID: 35287987; PMCID: PMC8885307.

Domingues CMAS, Maranhão AGK, Teixeira AM, Fantinato FFS, Domingues RAS. 46 anos do Programa Nacional de Imunizações: uma história repleta de conquistas e desafios a serem superados. *Cad Saude Pública* [Internet]. 2020;36:e00222919. Available from: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00222919>

Monath TP, Vasconcelos PF. Yellow fever. *J Clin Virol*. 2015 Mar;64:160-73. doi: 10.1016/j.jcv.2014.08.030. Epub 2014 Oct 24. PMID: 25453327.

Organização Pan-Americana da Saúde. OPAS verifica que o Brasil é mais uma vez um país livre do sarampo [Internet]. Brasília: OPAS; 2024 Nov 12 [cited 2026 Jun 18]. Available



from: <https://www.paho.org/pt/noticias/12-11-2024-opas-verifica-que-brasil-e-mais-uma-vez-um-pais-livre-do-sarampo>

Possas C, Lourenço-de-Oliveira R, Tauil PL, Pinheiro F de P, Pissinatti A, Cunha RV da, et al.. Yellow fever outbreak in Brazil: the puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation. Mem Inst Oswaldo Cruz [Internet]. 2018;113(10):e180278. Available from: <https://doi.org/10.1590/0074-02760180278>

Cherry JD. Epidemiological, clinical, and laboratory aspects of pertussis in adults. Clin Infect Dis. 1999 Jun;28 Suppl 2:S112-7. doi: 10.1086/515058. PMID: 10447028.

Sáfadi MA, O'Ryan M, Valenzuela Bravo MT, Brandileone MC, Gorla MC, de Lemos AP, Moreno G, Vazquez JA, López EL, Taha MK, Borrow R; Global Meningococcal Initiative. The current situation of meningococcal disease in Latin America and updated Global Meningococcal Initiative (GMI) recommendations. Vaccine. 2015 Nov 27;33(48):6529-36. doi: 10.1016/j.vaccine.2015.10.055. Epub 2015 Oct 25. PMID: 26597036.

Silveira MF, Tonial CT, Goretta K Maranhão A, Teixeira AMS, Hallal PC, Maria B Menezes A, Horta BL, Hartwig FP, Barros AJD, Victora CG. Missed childhood immunizations during the COVID-19 pandemic in Brazil: Analyses of routine statistics and of a national household survey. Vaccine. 2021 Jun 8;39(25):3404-3409. doi: 10.1016/j.vaccine.2021.04.046. Epub 2021 Apr 27. PMID: 33941406; PMCID: PMC9756801.

Temporão JG. O Programa Nacional de Imunizações (PNI): origens e desenvolvimento. Hist cienc saude-Manguinhos [Internet]. 2003;10:601-17. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702003000500008>

Guedes S, Bricout H, Langevin E, Tong S, Bertrand-Gerentes I. Epidemiology of invasive meningococcal disease and sequelae in the United Kingdom during the period 2008 to 2017 - a secondary database analysis. BMC Public Health. 2022 Mar 17;22(1):521. doi: 10.1186/s12889-022-12933-3. PMID: 35296287; PMCID: PMC8928586.

World Health Organization. *Measles* [Internet]. Geneva: WHO; 2025 Nov 28 [cited 2026 Jun 18]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/measles>