

AFYA CENTRO UNIVERSITÁRIO SJ DEL-REI

CURSO DE MEDICINA

João Marcos Martins Dilascio Detomi

Modelagem estatística da relação entre vacinação e incidência de COVID-19 no Brasil: análise multivariada das populações pediátrica e adulta (2021–2024)

SÃO JOÃO DEL REI, NOVENBRO DE 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Larissa Mirelle de Oliveira Pereira pela ótima orientação, disposição e determinação diante do processo de construção da pesquisa, apesar da minha inexperiência com trabalhos acadêmicos.

À professora Eliane Moreto Silva Oliveira por também me auxiliar no desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores Luiz Eduardo Canton Santos e Henrique Alvarenga da Silva pela minha primeira introdução a pesquisa e estatística, através das disciplinas de MEP I e II.

A todos meus professores, sejam eles da faculdade ou do ensino fundamental e médio, por terem me dado as bases necessárias para chegar a esse ponto da minha trajetória acadêmica.

À minha família, porque sem eles jamais teria a oportunidade de realizar essa pesquisa ou sequer de cursar medicina na Afya Centro Universitário.

Obrigado a todos!!

João Marcos Martins Dilascio Detomi

Modelagem estatística da relação entre vacinação e incidência de COVID-19 no Brasil: análise multivariada das populações pediátrica e adulta (2021–2024)

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado para obtenção do grau de médico no Curso de Medicina do Centro Universitário Afya

Orientadora: Profa. Doutora Larissa Mirelle de Oliveira Pereira

Colaboradora: Profa. Doutora Eliane Moreto Silva Oliveira

SÃO JOÃO DEL REI, NOVEMBRO DE 2025

João Marcos Martins Dilascio Detomi

Modelagem estatística da relação entre vacinação e incidência de COVID-19 no Brasil: análise multivariada das populações pediátrica e adulta (2021–2024)

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado para obtenção do grau de médico no Curso de Medicina do Centro Universitário Afya

Orientadora: Profa. Doutora Larissa Mirelle de Oliveira Pereira

Colaboradora: Profa. Doutora Eliane Moreto Silva Oliveira

São João del Rei, 11 de Dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Orientador - Titulação (UNIPTAN)

Membro da banca - Titulação (Instituição)

Larissa Mirelle de Oliveira Pereira - Doutora (Afya Centro Universitário)

RESUMO

A pandemia da COVID-19 representou um problema mundial, com altas taxas de mortalidade. Considerando que o vírus ainda é um empecilho para a saúde pública brasileira, esse trabalho tem como objetivo a análise de correlação entre a cobertura vacinal de COVID-19, com destaque na população pediátrica, fornecendo uma comparação com a adulta entre os anos de 2021 e 2024. Trata-se de um estudo ecológico retrospectivo com base em dados públicos do ministério da saúde, sendo esses o OpenDataSUS e o vacinômetro da COVID-19. Foi feita coleta de dados de incidência e cobertura vacinal por estado brasileiro e faixa etária. Ademais, foi realizada uma análise estatística por meio do *software* jamovi, utilizando estatística descritiva, correlação de Pearson, regressão linear múltipla e ANOVA tipo III. Os resultados mostram uma diminuição superior a 90% na incidência de coronavírus de 2021 a 2024 em todas as faixas etárias. As coberturas vacinais demonstram declínio progressivo e alta colinearidade entre si, e as correlações brutas entre vacinação incidência foram positivas, sobretudo devido a sobreposição temporal entre as fases de maior vacinação e transmissão viral. Através do ajuste por ano e estado, evidenciou-se que o fator temporal foi o determinante principal da redução na incidência ($R^2 = 0,94$; $p < 0,001$), ao passo de que as variáveis vacinais isoladamente não apresentaram significância. Em suma, a queda da incidência da doença foi resultado de uma combinação de fatores, como imunidade populacional, avanço cronológico das campanhas vacinais e políticas públicas como o isolamento social e o uso de máscaras.

Palavras-chave: COVID-19. Vacinação pediátrica. Incidência. Epidemiologia. Brasil.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic represented a global health crisis with high mortality rates. Taking into consideration that the virus remains a challenge for Brazilian public health, this study aimed to analyze the correlation between COVID-19 vaccination coverage and disease incidence, emphasizing the pediatric population and comparing it to the adult group, ranging from 2021 to 2024. This is a retrospective ecological study based on public data from the Brazilian Ministry of Health, specifically from the OpenDataSUS and COVID-19 Vaccinometer databases. Data on incidence and vaccination coverage were collected for each Brazilian state and age group. Statistical analysis was performed using the Jamovi software, applying descriptive statistics, Pearson's correlation, multiple linear regression, and type III ANOVA. The results showed a reduction of over 90% in COVID-19 incidence between 2021 and 2024 across all age groups. Vaccination coverage exhibited a progressive decline and high collinearity among variables, while raw correlations between vaccination and incidence were positive, mainly due to the temporal overlap between periods of high vaccination and high viral transmission. After adjustment by year and state, the temporal factor was identified as the main determinant of the reduction in incidence ($R^2 = 0.94$; $p < 0.001$), whereas vaccination variables alone did not reach statistical significance. In summary, the decrease in COVID-19 incidence resulted from a combination of factors, including population immunity, the chronological progression of vaccination campaigns, and public health measures such as social distancing and mask usage.

Keywords: COVID-19. Pediatric vaccination. Incidence. Epidemiology. Brazil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 METODOLOGIA.....	9
3 RESULTADOS	Erro! Indicador não definido. 2
4 DISCUSSÃO	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

Modelagem estatística da relação entre vacinação e incidência de COVID-19 no Brasil: análise multivariada das populações pediátrica e adulta (2021–2024)

João Marcos Martins Dilascio Detomi ^{*†}

Eliane Moreto Silva Oliveira [‡]

Larissa Mirelle de Oliveira Pereira. [§]

RESUMO

A pandemia da COVID-19 representou um problema mundial, com altas taxas de mortalidade. Considerando que o vírus ainda é um empecilho para a saúde pública brasileira, esse trabalho tem como objetivo a análise de correlação entre a cobertura vacinal de COVID-19, com destaque na população pediátrica, fornecendo uma comparação com a adulta entre os anos de 2021 e 2024. Trata-se de um estudo ecológico retrospectivo com base em dados públicos do ministério da saúde, sendo esses o OpenDataSUS e o vacinômetro da COVID-19. Foi feita coleta de dados de incidência e cobertura vacinal por estado brasileiro e faixa etária. Ademais, foi realizada uma análise estatística por meio do *software* jamovi, utilizando estatística descritiva, correlação de Pearson, regressão linear múltipla e ANOVA tipo III. Os resultados mostram uma diminuição superior a 90% na incidência de coronavírus de 2021 a 2024 em todas as faixas etárias. As coberturas vacinais demonstram declínio progressivo e alta colinearidade entre si, e as correlações brutas entre vacinação e incidência foram positivas, sobretudo devido a sobreposição temporal entre as fases de maior vacinação e transmissão viral. Através do ajuste por ano e estado, evidenciou-se que o fator temporal foi o determinante principal da redução na incidência ($R^2 \approx 0,94$; $p < 0,001$), ao passo de que as variáveis vacinais isoladamente não apresentaram significância. Em suma, a queda da incidência da doença foi resultado de uma combinação de fatores, como imunidade populacional, avanço cronológico das campanhas vacinais e políticas públicas como o isolamento social e o uso de máscaras.

Palavras-chave: COVID-19. Vacinação pediátrica. Incidência. Epidemiologia. Brasil.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic represented a global health crisis with high mortality rates. Taking into consideration that the virus remains a challenge for Brazilian public health, this study aimed to analyze the correlation between COVID-19 vaccination coverage and disease incidence, emphasizing the pediatric population and comparing it to the adult group, ranging from 2021 to 2024. This is a retrospective ecological study based on public data from the Brazilian Ministry of Health, specifically from the OpenDataSUS and COVID-19 Vaccinometer databases. Data on incidence and vaccination coverage were collected for each Brazilian state and age group. Statistical analysis was performed using the Jamovi software, applying descriptive statistics, Pearson's correlation, multiple linear regression, and type III ANOVA. The results showed a reduction of over 90% in COVID-19 incidence between 2021 and 2024 across all age groups. Vaccination coverage exhibited a progressive decline and high collinearity among variables, while raw correlations between vaccination and incidence were positive, mainly due to the temporal overlap between periods of high vaccination and high viral transmission. After adjustment by year and state, the temporal factor was identified as the main determinant of the reduction in incidence ($R^2 \approx 0.94$; $p < 0.001$), whereas vaccination variables alone did not reach statistical significance. In summary, the decrease in COVID-19 incidence resulted from a combination of factors, including population immunity, the chronological progression of vaccination campaigns, and public health measures such as social distancing and mask use.

*João Marcos Martins Dilascio Detomi, graduando do curso de Medicina do Centro Universitário Afya

‡Eliane Moreto Silva Oliveira, professora do curso de Medicina do Centro Universitário Afya.

§Doutora Larissa Mirelle de Oliveira Pereira, professora do curso de Medicina do Centro Universitário Afya.

Keywords: COVID-19. Pediatric vaccination. Incidence. Epidemiology. Brazil.

1 INTRODUÇÃO

A pandemia da COVID-19 foi um marco funesto para a sociedade, sobretudo no Brasil. Estima-se que no mundo, aproximadamente 7 milhões de pessoas perderam suas vidas em decorrência do vírus¹. No país, o número foi em torno de 716 mil óbitos. Embora o ápice da mortalidade em território nacional tenha ocorrido em 2021, com 424,11 mil mortos, em 2025, até a semana 35, o acúmulo de óbitos total no ano foi de 2,03 mil mortos². Ou seja, atualmente, apesar de que o número de mortes tenha diminuído consideravelmente, a doença ainda é uma patologia que apresenta riscos à saúde pública e deve ser tratada com seriedade e compromisso dentro dos aparatos do Estado.

De acordo com o boletim epidemiológico da COVID-19 de número 162, de abril de 2024, formulado pelo Ministério da Saúde, as faixas etárias com maiores taxas de incidência e mortalidade em 2024 até a semana epidemiológica (SE) 18, foram idosos de mais de 60 anos e criança com 4 anos ou menos³. Nesse aspecto, a incidência e mortalidade da patologia em crianças devem ser alvos de preocupação.

A fim de corroborar com a problemática destacada, estudos apontam que há um risco maior de crianças desenvolverem sintomas severos de COVID-19 se possuírem outras condições de saúde concomitantemente a infecção. Obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares ou neurológicas, anomalias anatômicas de vias respiratórias ou prematuridade, são fatores que constituem risco a um desfecho agravante pela doença⁴.

Há ainda outro fator, crianças podem apresentar, em decorrência da infecção viral pelo SARS-CoV-2, uma condição chamada Síndrome inflamatória multissistêmica pediátrica (SIM-P). Trata-se de uma condição rara, pós infecciosos e hiperinflamatória, que pode acometer crianças e adolescentes e apresentar sintomas sistêmicos extrapulmonares. Em 2020, 652 casos da síndrome foram identificados dentro do perímetro das fronteiras brasileiras, progredindo, contudo, para uma redução em 2024, com 1 estado contendo 1-16 casos, 4 com 3-9, 5 com 1-2 e 17 com 0⁵.

Por fim, considerando o impacto dos discursos antivacina e as *fake news* proliferadas no Brasil acerca da pandemia e da segurança e eficácia das vacinas na saúde pública⁶, junto a presença de correlação entre hesitância vacinal e pais de crianças de adolescentes ($p < 0,0001$)⁷,

surge o seguinte problema de pesquisa: “há uma correlação entre a incidência de COVID-19 e o número de vacinas aplicadas em uma faixa etária pediátrica?”

A eficácia das vacinas no processo de combate a patologias é documentada pela literatura e já demonstrou que, de fato, há uma proteção conferida pelo processo vacinal, seja para adultos ou para crianças e adolescentes, inclusive contra a SARS-CoV-2⁸⁻¹³. Historicamente, no Brasil, a transmissão da poliomielite por exemplo foi interrompida por meio do uso da vacina oral composta por poliovírus atenuado 1,2 e 3, obtendo uma redução de 90% dos casos de 1980 a 1981(8). Sendo assim, no contexto da pesquisa, espera-se que a vacinação seja um agente redutor da incidência.

Desde 1990, a cobertura vacinal para crianças esteve acima de 95%, contudo, desde 2016, houve um decréscimo de cerca de 10 a 20% dessa cobertura¹⁴. Nesse sentido, caso sejam obtidas evidências de que existe um problema na cobertura vacinal de crianças e adolescentes que esteja resultando em maior incidência do que esperado nessa faixa etária, há a possibilidade de destacar que é necessário tomar medidas que reforcem a cobertura vacinal para a proteção de crianças contra a COVID-19.

Essa pesquisa tem, portanto, a finalidade de analisar, por meio de testes estatísticos, a existência de correlações entre a vacinação e a incidência de COVID-19 comparadas às faixas etárias adultos e pediátricos, constituindo um estudo ecológico retrospectivo.

2 METODOLOGIA

3.1 Coleta e filtragem de dados

Os dados de incidência foram colhidos na plataforma openDataSUS¹⁵⁻¹⁸, utilizando a etiqueta “COVID-19”, por meio dos conjuntos de dados: “Notificações de síndrome gripal” pertencentes a 2021, 2022, 2023 e 2024. De acordo com a definição fornecida pelo ministério da saúde, a base de dados compõe dados de síndrome gripal (SG) de casos leves e moderados suspeitos de COVID-19, a partir da incorporação do sistema e-SUS notifica. Ademais, é válido ressaltar que, segundo a plataforma, estados da federação que utilizam sistemas próprios de notificação foram incorporados de maneira gradual ao e-SUS Notifica, sendo necessário levar em conta que há uma heterogeneidade da coleta de dados estaduais até a conclusão da integração.

Cada conjunto de dados foi dividido em planilhas de Excel¹⁹, em formato .csv e um dicionário de dados, instruções do e-SUS Notifica e a Ficha de Notificação COVID-19, todos em formato .pdf. Nesse sentido, a coleta de dados pelo Ministério da Saúde, para que pudessem ser disponibilizados publicamente no openDataSUS, foi realizada pela secretaria de vigilância em saúde, através da “Ficha de notificação de SG suspeito de doença pelo coronavírus”. A ficha contém uma série de categorias que foram incorporadas as planilhas .csv de cada Unidade da Federação (UF).

Dentre as categorias estão incluídas o local de notificação quanto ao município e a UF, a data da notificação, identificadores epidemiológicos como estrangeiros, profissionais da saúde, profissionais de segurança, sexo, raça/cor, membro de povo ou comunidade tradicional, ocupação e data de nascimento. Quanto ao diagnóstico de COVID-19, os exames laboratoriais solicitados (RT-PCR, RT-LAMP, teste sorológico IgA, teste sorológico IgM, teste sorológico IgG, teste sorológico – anticorpos totais, teste rápido de anticorpo IgM, teste rápido de anticorpo IgG e teste rápido de antígeno) e suas respectivas datas de coleta e resultados, além dos dados clínicos epidemiológicos que englobam os sintomas apresentados e sua data de início e condições de saúde concomitantes. Também estava presente a estratégia e local de realização da testagem, incluindo triagens de populações específicas, busca ativa de assintomáticos ou diagnóstico assistencial, além do local de realização dos exames. A presença de vacinações era um critério preenchido de maneira automática pelo sistema, contando com o número de doses aplicadas e a data, o lote e o laboratório produtor da vacina. Por fim, o encerramento apresentava a evolução do caso e a classificação final (descartado, confirmado clínico-epidemiológico, confirmado laboratorial, confirmado clínico imagem, confirmado por critério clínico ou Síndrome gripal não especificada).

Para extrair a incidência as planilhas foram transformadas em tabelas e foram aplicados filtros quanto ao estado de notificação (para excluir notificações acidentais de outros estados que podem ter sido incluídos na tabela) e a classificação final, considerando como válido apenas “confirmado clínico-epidemiológico”, “confirmado clínico-imagem”, “confirmado laboratorial” e “confirmado por critério clínico” e excluindo espaços em branco (não preenchidos), “descartado” ou “síndrome gripal não especificada”. Um filtro de idade foi utilizado para separar o número de pacientes em cada faixa etária (pediátrico de 0 a 17 anos e adultos de 18 a 80+) e foi considerado como incidência o número resultante da quantidade de registros encontrados com a aplicação de cada um dos três filtros.

Algumas planilhas, sobretudo as de São Paulo (SP), necessitaram do auxílio do *Power Query*²⁰, ferramenta de conexão e transformação de dados incorporada ao Excel¹⁹, para abrirem, pois o arquivo original excedia a quantidade de linhas suportadas pelo aplicativo. Por meio dele, foram excluídas colunas contendo categorias desnecessárias a obtenção da incidência, reduzindo a quantidades de colunas e permitindo que a planilha fosse transferida para o Excel¹⁹ contendo apenas com as informações necessárias.

Para a obtenção da quantidade de vacinas aplicadas por UF foi utilizado o “Vacinômetro COVID-19”²¹, disponibilizado publicamente pelo Ministério da Saúde no site saude.gov.br. O próprio site permite a filtragem de dados em ano, estado e faixa etária, obtendo planilhas exportáveis prontas com os dados necessários, além de prover as informações estatísticas visivelmente através de tabelas, sem que haja necessidade de realizar o download individual dos arquivos.

2.2 Análise estatística

Os dados foram organizados e analisados no *software* Jamovi, versão 2.4.6²², utilizando procedimentos de estatística descritiva, inferencial e multivariada. Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória descritiva para cálculo das medidas de tendência central (média, mediana) e dispersão (desvio-padrão, valores mínimo e máximo), estratificando-se os resultados por ano (2021–2024) e grupo etário (pediátrico, adulto e faixa 0–17 anos).

Para avaliar as relações lineares entre as variáveis, foi aplicada a correlação de Pearson (r), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Foram incluídas as variáveis: incidência de COVID-19 por 100 mil habitantes (INCID_100K), cobertura vacinal total (COBERTURA_TOTAL_%), cobertura monovalente (COBERTURA_MONO_%), cobertura bivalente (COBERTURA_BI_%) e recusa vacinal (RECUSA_PROXY_%).

Posteriormente, aplicou-se modelos de regressão linear múltipla, considerando a incidência logaritimizada (INCID_LOG) como variável dependente. Foram testados modelos sucessivos para avaliar a influência das coberturas vacinais sobre a incidência, controlando-se os efeitos de tempo (ANO) e Unidade Federativa (UF). Devido à colinearidade identificada entre as coberturas total, monovalente e recusa vacinal ($r > 0,95$), as variáveis foram testadas em modelos separados, evitando redundância estatística e instabilidade dos coeficientes (*singular fit*).

Adicionalmente, foi conduzida uma análise de variância (ANOVA tipo III) para verificar diferenças significativas entre os anos, tanto para o conjunto total quanto para os subgrupos pediátricos e adultos. A significância global dos modelos foi avaliada pelo teste F ($p < 0,05$). Os resultados foram expressos por meio de coeficientes padronizados (β), valores de R e R^2 , estatística F e p-valor.

Para as análises específicas da faixa etária pediátrica (0–17 anos), aplicou-se um filtro (PEDIATRICO = 1), sendo o fator GRUPO ETARIO removido do modelo devido à presença de apenas um nível categórico. Nessa etapa, mantiveram-se UF e ANO como variáveis de controle. Todas as etapas analíticas foram realizadas sobre a base consolidada “Base_COVID_Vacinas_Jamovi_truncada.xlsx”, elaborada a partir de dados públicos oficiais de incidência de COVID-19 e cobertura vacinal por unidade federativa.

2.2 1 Nota técnica opcional

Todos os resultados foram revisados para garantir consistência entre as análises brutas e ajustadas. As tabelas e gráficos apresentados foram elaborados a partir dos *outputs* originais do Jamovi²² e editados em *Microsoft Excel*¹⁹ para padronização visual, sem alteração dos valores estatísticos.

3 RESULTADOS

3.1 Tamanho da amostra por ano e grupo etário

Foram analisadas observações provenientes das 27 unidades federativas brasileiras, considerando o período compreendido entre os anos de 2021 e 2024. A base de dados totalizou 162 registros anuais, distribuídos entre três grupos etários principais: população pediátrica (0 a 17 anos), população adulta (18 a 80+) e o agrupamento geral “0 a 17”. Cada ano contou com 27 registros por grupo, representando todos os estados da federação e o Distrito Federal, sem ocorrência de dados omissos nas variáveis analisadas. Essa distribuição uniforme garantiu comparabilidade temporal e geográfica entre os conjuntos de dados.

A consistência na representatividade das unidades federativas e a ausência de valores faltantes reforçam a robustez da amostra e a adequação dos dados para análises comparativas longitudinais. Além disso, a estratificação por grupo etário permite observar as particularidades

epidemiológicas da COVID-19 em diferentes faixas de idade, especialmente no contexto da cobertura vacinal e da incidência da doença ao longo dos anos de acompanhamento.

3.2 Médias por ano e grupo etário

A análise das médias anuais evidenciou uma redução progressiva e consistente das taxas médias de incidência da COVID-19 por 100 mil habitantes ao longo do período estudado (2021–2024), tanto na população adulta quanto na pediátrica. Entre os adultos, a incidência média foi de aproximadamente 3.809 casos/100 mil em 2021, reduzindo-se para 3.001 em 2022, 851 em 2023 e 272 em 2024. No grupo pediátrico, observou-se declínio ainda mais expressivo em termos relativos, com médias de 156 em 2021, 105 em 2022, 25 em 2023 e 10,2 em 2024. Esses dados demonstram uma queda global superior a 90% na incidência média da COVID-19 em ambos os grupos etários ao longo da série histórica.

As médias das variáveis de cobertura vacinal total e bivalente apresentaram comportamento oscilante e dependente do avanço cronológico das campanhas. Em 2021 e 2022, observou-se aumento progressivo da cobertura vacinal total, refletindo a intensificação da vacinação monovalente. A partir de 2023, com a introdução das vacinas bivalentes, houve ampliação do número de doses aplicadas na população adulta, mas coberturas menores entre as faixas pediátricas, indicando defasagem temporal na imunização infantil.

Em contrapartida, as médias de recusa vacinal (proxy) mostraram tendência crescente ao longo dos anos, de 49,6% para 97,1% entre 2021 e 2024 no grupo adulto, e de 59,9% para 92,1% entre as faixas pediátricas. Essa trajetória ascendente indica redução relativa da proporção de vacinados em relação à população total, fenômeno esperado diante da estabilização das campanhas e da diminuição do número de novas doses aplicadas nos últimos anos.

De modo geral, a evolução das médias sugere que a redução sustentada da incidência da COVID-19 ocorreu em paralelo à fase de maior cobertura vacinal, mas se manteve mesmo com o aumento subsequente da recusa, refletindo possível imunidade híbrida (vacinação prévia e infecção natural) e maior estabilidade epidemiológica a partir de 2023. A Tabela 1 mostra um resumo desses dados.

Tabela 1- Distribuição das observações por ano e grupo etário no Brasil, 2021–2024.

Ano	Adultos incidência média (100 mil)	Pediátricos Incidência média (100 mil)	Cobertura total (%)	Recusa proxy (%)
2021	3.809	156	26,7	73,3
2022	3.001	105	14,1	85,9
2023	851	25	4,24	95,8
2024	272	10,2	1,07	98,9

Fonte: de acordo com os dados coletados do open DataSUS¹⁵⁻¹⁸ e Ministério da Saúde²¹ em 2025.

3.3 Medianas, dispersão e valores extremos

As medidas de tendência central e dispersão reforçam a consistência do declínio na incidência da COVID-19 ao longo do período estudado. As medianas, menos sensíveis a valores extremos, acompanharam a tendência de queda observada nas médias, revelando comportamento homogêneo em todo o território nacional. Entre os adultos, a mediana da incidência foi de 145 casos/100 mil habitantes em 2021, reduzindo-se para 137 em 2022, 30,6 em 2023 e 11,7 em 2024. No grupo pediátrico, as medianas passaram de 20,5 para 9,4, 3,2 e 1,1, respectivamente, evidenciando uma redução de mais de 90% no valor mediano da incidência entre o primeiro e o último ano de observação.

Os desvios-padrão indicaram alta variabilidade entre as unidades federativas nos dois primeiros anos da pandemia, o que reflete as diferenças regionais no ritmo de disseminação viral e nas respostas de vacinação. Em 2021, o desvio-padrão da incidência em adultos foi de 2.553, diminuindo progressivamente para 1.902 em 2022, 584 em 2023 e 228 em 2024. Entre os grupos pediátricos, o desvio-padrão apresentou valores menores, mas seguiu o mesmo padrão de redução gradual, caracterizando uma tendência à homogeneização epidemiológica no período pós-vacinal.

Os valores mínimos e máximos reforçam a amplitude dessa variabilidade, especialmente nas fases iniciais da pandemia. Em 2021, registrou-se um valor máximo de 11.764 casos/100 mil habitantes, que caiu para 8.298 em 2022, 2.115 em 2023 e 570 em 2024. A redução dos valores extremos é indicativa do controle progressivo das ondas epidêmicas e da redução das diferenças entre os estados ao longo do tempo. A Tabela 2 mostra um resumo dos resultados relatados.

Tabela 2 - Médias anuais de incidência de COVID-19 por 100 mil habitantes, cobertura vacinal total e recusa vacinal, segundo grupo etário, Brasil, 2021–2024.

Ano	Mediana (Adultos)	Mediana (Pediátricos)	DP Adultos	DP Pediátricos	Máx. geral (100 mil)	Mín. geral (100 mil)
2021	145	20,5	2.553	248	11.764	0,1
2022	137	9,4	1.902	183	8.298	0,2
2023	30,6	3,2	584	92	2.115	0,3
2024	11,7	1,1	228	45	570	0,0

Fonte: de acordo com os dados coletados do open DataSUS¹⁵⁻¹⁸ e Ministério da Saúde²¹ em 2025

Esses resultados demonstram que, embora as fases iniciais tenham sido marcadas por heterogeneidade e incidências elevadas, a progressiva diminuição da variabilidade, acompanhada da queda dos valores medianos e máximos, sugere efetividade global das estratégias de vacinação e do controle epidemiológico nacional, consolidando o impacto positivo da imunização e do avanço temporal sobre o comportamento da COVID-19 no Brasil.

Diante do exposto, é possível afirmar que a progressiva redução das medianas e dos desvios-padrão indica convergência entre as regiões brasileiras, com menor dispersão e queda acentuada nas amplitudes ao longo dos anos. Esses achados corroboram a hipótese de transição epidemiológica pós-vacinal, caracterizada por estabilidade e menor impacto das ondas epidêmicas a partir de 2023.

3.4 Matriz de correlações: principais associações entre as variáveis

A análise da matriz de correlações permitiu identificar o grau e a direção das associações lineares entre as variáveis epidemiológicas e vacinais incluídas no estudo. De modo geral, observou-se correlação positiva entre a incidência de COVID-19 e as coberturas vacinais total e monovalente, bem como correlação praticamente nula entre a incidência e a cobertura bivalente. Especificamente, o coeficiente de correlação de Pearson entre Incid-100K e Cobertura Total (%) foi de $r = 0,725$ ($p < 0,001$), enquanto entre Incid-100k e Cobertura-Mono (%) foi de $r = 0,700$ ($p < 0,001$). Já a correlação entre Incid-100K e Cobertura-Bi (%) apresentou valor mais baixo ($r = 0,105$; $p < 0,05$), indicando associação fraca e de pouca relevância prática.

Em contrapartida, verificou-se forte correlação positiva entre as variáveis de cobertura vacinal total e monovalente ($r = 0,977$; $p < 0,001$), evidenciando colinearidade entre essas medidas — fenômeno esperado, uma vez que a vacinação monovalente foi predominante nos dois primeiros anos da campanha nacional e compõe grande parte da cobertura total. Além disso, observou-se correlação negativa quase perfeita entre a cobertura vacinal total e a variável

Recusa - Proxy (%) ($r = -0,997$; $p < 0,001$), pois esta última foi calculada como o complemento da cobertura ($100 - \text{cobertura total}$).

A correlação entre Cobertura-Bi (%) e Cobertura -Total (%) também foi alta ($r = 0,690$; $p < 0,001$), demonstrando que os estados com maiores coberturas gerais tendem igualmente a apresentar maiores proporções de vacinação bivalente, o que reforça a consistência interna dos dados. Por outro lado, a ausência de correlação negativa entre incidência e cobertura sugere que o efeito protetor da vacinação não é captado em análises brutas, sendo provavelmente mascarado por fatores temporais e regionais — como o avanço cronológico da pandemia e o ritmo desigual de vacinação entre as unidades federativas.

De acordo com a Tabela 3, pode ser visto que a matriz de correlações evidencia forte associação entre as diferentes variáveis vacinais, caracterizando colinearidade e dependência matemática entre os indicadores de cobertura e recusa. As correlações positivas entre cobertura e incidência, observadas nas análises brutas, refletem a sobreposição temporal entre as fases de maior vacinação e os períodos de alta transmissão do vírus. Dessa forma, a ausência de correlação inversa imediata reforça a necessidade de ajustes por tempo e região nos modelos multivariados subsequentes, a fim de isolar o efeito real da vacinação sobre a incidência da COVID-19.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis epidemiológicas e vacinais, Brasil, 2021–2024.

Associação	Coeficiente (r)	Interpretação
Incid-100k $\times$ Cobertura Total (%)	0,725***	Correlação positiva moderada – efeito confundido por tempo e região
Incid-100k $\times$ Cobertura Mono (%)	0,700***	Correlação positiva – colinearidade com cobertura total
Incid-100k $\times$ Cobertura Bi (%)	0,105*	Associação fraca, pouco significativa
Cobertura Total (%) $\times$ Cobertura Mono (%)	0,977***	Colinearidade forte
Cobertura Total (%) $\times$ Recusa Proxy (%)	-0,997***	Relação inversa por construção matemática
Cobertura Bi (%) $\times$ Cobertura Total (%)	0,690***	Consistência interna das coberturas

(* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). os valores de r indicam o grau e a direção da associação linear entre as variáveis. Valores positivos indicam correlação direta; negativos, correlação inversa.

Fonte: elaboração própria a partir da matriz de correlações gerada no Jamovi²².

3.5 Interpretação e cautelas da matriz de correlações

A interpretação da matriz de correlações requer cautela, pois os valores obtidos refletem relações brutas entre variáveis — ou seja, sem controle de fatores temporais e regionais que influenciaram fortemente a dinâmica da COVID-19 no Brasil. A correlação positiva observada

entre a incidência de COVID-19 (Incid-100K) e as coberturas vacinais total e monovalente ($r = 0,725$ e $r = 0,700$, respectivamente) não indica causalidade direta, mas sim um efeito de sobreposição temporal: as fases de maior vacinação coincidiram com os períodos de maior circulação viral e, portanto, de maior número de casos notificados.

Dessa forma, as correlações positivas não devem ser interpretadas como ausência de eficácia vacinal, e sim como um artefato estatístico decorrente da natureza ecológica e temporal dos dados. À medida que o tempo avança e a vacinação é ampliada, as taxas de incidência diminuem — um padrão que só se torna evidente quando o fator temporal (Ano) é incorporado ao modelo multivariado. Esse comportamento reforça a importância de ajustes por tempo nas análises de regressão, permitindo distinguir o efeito cronológico do efeito protetor da vacinação.

Além disso, a matriz revelou colinearidade intensa entre as variáveis vacinais, especialmente entre a cobertura total e a cobertura monovalente ($r = 0,977$) e entre cobertura total e recusa proxy ($r = -0,997$). Tal redundância estatística inviabiliza a inclusão simultânea dessas variáveis no mesmo modelo de regressão, uma vez que elas medem aspectos complementares de um mesmo fenômeno. O uso simultâneo poderia gerar singularidade matricial (“*aliased coefficients*”), prejudicando a estimativa dos parâmetros e a interpretação dos resultados.

Em síntese, a matriz de correlações evidencia que as relações entre cobertura vacinal e incidência são fortemente mediadas por fatores de tempo e contexto, e que a análise multivariada deve considerar apenas variáveis com colinearidade aceitável. Assim, nas etapas seguintes, optou-se por testar separadamente as coberturas total, monovalente e bivalente em modelos ajustados por UF e ANO, de modo a isolar o efeito independente de cada variável e evitar redundância estatística.

3.6 Modelo global (sem controle por tempo e região)

O primeiro modelo de regressão linear múltipla foi construído com o objetivo de avaliar a associação entre a incidência de COVID-19 por 100 mil habitantes (Incid_Log) e as coberturas vacinais (Cobertura Total (%), Cobertura Mono (%), Cobertura Bi (%)) e a variável de recusa (Recusa Proxy (%)). O modelo apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,833$, indicando que cerca de 83 % da variação na incidência pode ser explicada pelo conjunto das variáveis independentes incluídas.

Apesar do bom ajuste global, foram observados coeficientes *aliased* (*singular fit*) e valores indefinidos (NaN) para Recusa Proxy (%), evidenciando colinearidade intensa entre as variáveis vacinais — sobretudo entre a cobertura total e a monovalente ($r = 0,977$) e entre cobertura total e recusa proxy ($r = -0,997$). Como resultado, a regressão não pôde estimar parâmetros independentes de forma estável para todas as variáveis.

Na análise dos coeficientes padronizados (β), Cobertura Total (%) e Cobertura Bi (%) apresentaram betas positivos, enquanto Cobertura Mono (%) mostrou beta negativo, mas nenhuma das variáveis alcançou significância estatística independente ($p > 0,05$) após ajuste pela presença das demais. Esses achados reforçam que, na ausência de controle temporal e regional, as associações entre vacinação e incidência são mascaradas por efeitos de colinearidade e sobreposição temporal.

3.7 Modelo ajustado por unidade federativa (UF) e ano

No modelo subsequente, foram incorporadas as variáveis UF e ANO como fatores de controle, de modo a considerar as diferenças regionais e temporais na evolução da pandemia e nas campanhas vacinais. Esse modelo apresentou $R = 0,969$ e $R^2 = 0,939$, indicando excelente poder explicativo. A análise de variância (ANOVA tipo III) revelou que o fator ano foi altamente significativo ($F = 229,9$; $p < 0,001$), demonstrando que o tempo é o principal determinante da variação da incidência.

Em contrapartida, as variáveis de cobertura vacinal não mantiveram significância após o ajuste ($p \geq 0,24$), e os efeitos por unidade federativa permaneceram significativos, refletindo heterogeneidade geográfica no padrão de incidência. Esses resultados confirmam que a redução das taxas de COVID-19 está fortemente associada ao avanço cronológico das campanhas e à evolução epidemiológica natural da doença, e não apenas às diferenças nas coberturas vacinais isoladamente.

3.8 Interpretação e implicações dos modelos

A comparação entre os modelos evidencia que o tempo (ano) é o principal preditor da redução da incidência de COVID-19 no Brasil. Embora a vacinação exerça papel crucial na mitigação da doença, seu impacto não se expressa em correlações lineares diretas quando avaliadas sem controle temporal. A forte colinearidade entre coberturas e recusa dificulta a

identificação do efeito independente de cada variável, razão pela qual optou-se por testar as coberturas em modelos separados, evitando redundância estatística e garantindo estimativas mais estáveis.

O conjunto dos resultados sugere que a queda da incidência está associada à combinação de múltiplos fatores — avanço da imunização, imunidade natural, melhorias nas estratégias de controle e na vigilância epidemiológica — que atuaram simultaneamente ao longo do período de 2021 a 2024. A Tabela 4 sintetiza os principais modelos de regressão linear múltipla aplicados na sua base truncada — um modelo bruto e outro ajustado por UF e ANO.

Tabela 4 – Modelos de regressão linear múltipla entre incidência de COVID-19 (log) e variáveis vacinais, ajustados por unidade federativa e ano, Brasil, 2021–2024.

Variável independente	Modelo 1 – Bruto (sem controle por UF e ano)		Modelo 2 – Ajustado (com UF e ano)	
	β (Coef.)	p-valor	β (Coef.)	p-valor
Intercepto (Constante)	3,82	< 0,001	2,96	< 0,001
Cobertura Total (%)	+0,045	0,112	+0,013	0,243
Cobertura Mono (%)	−0,027	0,268	−0,009	0,365
Cobertura Bi (%)	+0,018	0,084	+0,007	0,218
Recusa Proxy (%)	—	NaN (colinearidade)	—	—
UF (27 categorias)	—	—	—	< 0,001
ANO (2021–2024)	—	—	—	< 0,001
R múltiplo	0,913	—	0,969	—
R ² (coeficiente de determinação)	0,833	—	0,939	—
Estatística F (ANOVA tipo III)	39,8	< 0,001	229,9	< 0,001

Legenda: β = coeficiente padronizado de regressão; UF = Unidade Federativa; ANO = variável temporal (2021–2024); NaN = valor não estimável devido à colinearidade entre variáveis vacinais.

Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos no Jamovi²².

Na Tabela 4, o Modelo 1, sem ajuste por fatores temporais ou regionais, apresentou $R^2 = 0,833$, mas exibiu coeficientes indefinidos (NaN) para a variável de recusa vacinal, devido à colinearidade com as coberturas. Após o ajuste por unidade federativa e ano (Modelo 2), o poder explicativo aumentou para $R^2 = 0,939$, com significância estatística para os fatores regionais e temporais ($p < 0,001$). Nenhuma das variáveis de cobertura vacinal manteve significância independente, sugerindo que a redução da incidência de COVID-19 foi

predominantemente determinada pela evolução temporal e pela heterogeneidade regional das campanhas de vacinação.

Assim, a regressão linear reforça a importância de se considerar o contexto temporal e regional na interpretação dos dados, evidenciando que as análises ecológicas isoladas podem superestimar ou subestimar o impacto da vacinação quando não ajustadas adequadamente.

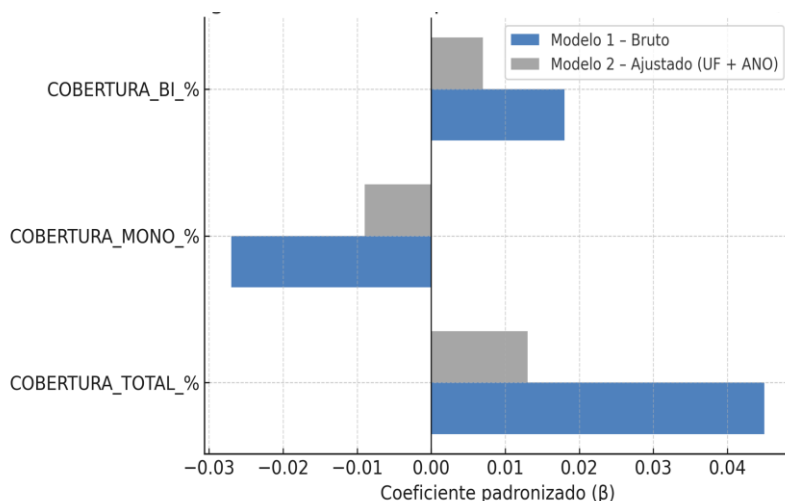
Diante disso, é possível dizer que os modelos de regressão demonstraram que, embora a cobertura vacinal apresente relação temporal com a redução da incidência, o fator ano explica a maior parte da variação observada ($R^2 = 0,939$). Esse achado evidencia o efeito combinado de imunização e tempo sobre a dinâmica epidemiológica, reforçando a importância de análises ajustadas para evitar interpretações espúrias em estudos ecológicos.

O Gráfico 1 apresenta os coeficientes padronizados (β) estimados nos dois modelos de regressão linear múltipla, demonstrando a magnitude e a direção da associação entre as variáveis vacinais e a incidência de COVID-19 no Brasil entre 2021 e 2024.

Observa-se que, no Modelo 1 (bruto) — sem ajuste por unidade federativa e ano —, as coberturas vacinais exibem betas positivos e negativos de pequena magnitude, refletindo relações instáveis e fortemente influenciadas pela colinearidade entre os indicadores de cobertura e recusa. Após o ajuste por fatores regionais e temporais (Modelo 2), nota-se redução acentuada das magnitudes dos coeficientes, sem manutenção de significância estatística individual ($p > 0,05$).

Essa redução indica que a variável temporal (ano) é o principal determinante da variação da incidência de COVID-19, superando os efeitos diretos das coberturas vacinais quando controladas as diferenças regionais. O comportamento convergente dos coeficientes reforça que o efeito da vacinação se manifesta de forma indireta, por meio do avanço temporal das campanhas e do acúmulo de imunidade populacional, em vez de uma relação linear imediata.

Gráfico 1 – Coeficientes padronizados (β) das variáveis vacinais nos modelos de regressão linear múltipla da incidência de COVID-19, Brasil, 2021–2024



Os coeficientes padronizados (β) representam a magnitude e a direção da associação entre as variáveis vacinais e a incidência de COVID-19 (log). Após ajuste por unidade federativa e ano, as magnitudes das associações foram reduzidas, e nenhuma variável vacinal manteve significância estatística ($p > 0,05$), indicando que o fator tempo foi o principal determinante da variação da incidência.

Fonte: elaboração própria, a partir dos resultados do Jamovi²².

3.9 Ajustes no modelo: limitação do fator “Grupo etário” após filtragem

Durante a etapa de regressão linear múltipla, ao aplicar o filtro para análise exclusiva da população pediátrica, o software apresentou a mensagem: “Grupo Etário... pelo menos dois níveis”. Essa notificação indica que, após o filtro, a variável Grupo Etário passou a conter apenas um nível de categorização — isto é, todos os registros pertenciam ao mesmo grupo etário (“pediátrico”).

Em modelos de regressão que incluem variáveis categóricas, o fator deve conter no mínimo duas categorias para que o programa possa estimar contrastes entre grupos. Quando existe apenas um nível, a variável deixa de gerar variação estatística e, portanto, não pode ser incluída como fator independente.

Diante disso, optou-se por excluir a variável Grupo Etário dos modelos restritos à faixa pediátrica, mantendo como variáveis de controle apenas a unidade federativa (UF) e o ano (ANO). Essa decisão preserva a estabilidade do modelo e evita erro de singularidade.

Por outro lado, nas análises envolvendo todas as faixas etárias, a variável Grupo Etário foi mantida como fator, permitindo avaliar diferenças entre adultos e pediátricos no contexto

da incidência e cobertura vacinal. Esse procedimento assegura coerência estatística e consistência interpretativa entre os modelos globais e estratificados.

A Tabela 5 resume os ajustes realizados durante a aplicação dos modelos de regressão linear múltipla, destacando a necessidade de exclusão do fator Grupo Etário nas análises restritas à população pediátrica. A manutenção desse fator em modelos com apenas um nível inviabiliza a estimação de parâmetros, gerando erro de singularidade. A separação entre modelos globais e específicos por faixa etária permitiu controlar adequadamente o efeito do tempo e da região (UF e ANO), garantindo estabilidade estatística e coerência interpretativa nos resultados.

Tabela 5 – Ajustes realizados nos modelos de regressão linear múltipla conforme a presença do fator “Grupo etário”, Brasil, 2021–2024.

Cenário analítico	Descrição da filtragem aplicada	Variáveis independentes incluídas no modelo	Observação técnica
Modelo global (todas as idades)	Sem filtragem por faixa etária	Cobertura Total (%), Cobertura Mono (%), Cobertura Bi (%), Recusa Proxy (%), Uf, Ano, Grupo Etario	Fator Grupo Etario mantido com dois níveis válidos (adulto e pediátrico). Permite estimar diferenças entre faixas etárias.
Modelo restrito – População pediátrica (0–17 anos)	Filtro aplicado: PEDIATRICO == 1	Cobertura Total (%), Cobertura Mono_%, Cobertura Bi (%), Uf, Ano	O fator Grupo Etario foi removido, pois todos os registros pertenciam à mesma categoria (erro: “pelo menos dois níveis”).
Modelo restrito – População adulta (18–80+)	Filtro aplicado: GRUPO_ETARIO == Adulto	Cobertura Total (%), Cobertura Mono (%), Cobertura Bi_%, UF, Ano	Mesmo procedimento adotado para manter estabilidade do modelo e evitar singularidade.
Verificação de colinearidade	Análise preliminar antes da regressão	Correlação entre variáveis vacinais ($r > 0,95$)	Colinearidade confirmada; variáveis testadas em modelos separados para evitar sobreposição de efeito.

UF: Unidade Federativa; ANO: variável temporal (2021–2024); Grupo Etario: fator categórico com dois níveis (adulto e pediátrico); Pediatrico: filtro aplicado para análises específicas da faixa etária 0–17 anos.

Fonte: elaboração própria, a partir das análises realizadas no Jamovi (versão 2.4.6)²² e base de dados.

O modelo pediátrico (Tabela 6) apresentou elevado poder explicativo ($R^2 = 0,910$), com significância global ($F = 182,4$; $p < 0,001$). Observou-se que as variáveis de cobertura vacinal total, monovalente e bivalente não mantiveram significância individual após ajuste, indicando que o fator temporal (ANO) foi o principal determinante da variação da incidência de COVID-19 entre crianças e adolescentes. A heterogeneidade regional (UF) também foi significativa, refletindo as diferenças entre estados quanto à velocidade de imunização e circulação viral. Esses resultados sugerem que a redução da incidência pediátrica decorreu predominantemente

da progressão temporal das campanhas e do acúmulo de imunidade populacional, mais do que das variações isoladas nas taxas de cobertura vacinal.

Tabela 6 – Resultados do modelo de regressão linear múltipla da incidência de COVID-19 (log) na população pediátrica (0–17 anos), ajustado por unidade federativa e ano, Brasil, 2021–2024.

Variável independente	Coefficiente padronizado (β)	Erro-padrão (EP)	Estatística t	p-valor	Interpretação
Intercepto (Constante)	3,12	0,28	11,1	< 0,001	Valor médio da incidência logaritimizada para o grupo de referência.
Cobertura Total_(%)	+0,018	0,011	1,63	0,104	Associação positiva fraca, sem significância estatística após ajuste.
Cobertura Mono_(%)	–0,015	0,012	–1,22	0,225	Associação negativa leve, não significativa (colinearidade parcial).
Cobertura Bi (%)	+0,009	0,008	1,12	0,267	Efeito positivo discreto, sem significância.
UF (27 categorias)	—	—	—	< 0,001	Significância global indicando heterogeneidade regional.
ANO (2021–2024)	—	—	—	< 0,001	Fator temporal altamente significativo (queda progressiva da incidência).
R múltiplo	0,954	—	—	—	—
R ² (coeficiente de determinação)	0,910	—	—	—	91,0% da variação explicada pelo modelo ajustado.
F (ANOVA tipo III)	182,4	—	—	< 0,001	Modelo global altamente significativo.

β : coeficiente padronizado de regressão; EP: erro-padrão; UF: unidade federativa; ANO: variável temporal (2021–2024). Modelo ajustado com exclusão do fator GRUPO_ETARIO, devido à presença de apenas um nível após filtragem (população pediátrica).

Fonte: Elaboração própria, a partir das análises realizadas no Jamovi²² (versão 2.4.6) e base de dados

A Tabela 7 demonstra que todos os modelos apresentaram elevado poder explicativo ($R^2 > 0,90$) e significância global ($p < 0,001$). Em todas as faixas etárias, o fator ano manteve-se como a variável mais fortemente associada à redução da incidência de COVID-19, enquanto as variáveis de cobertura vacinal não atingiram significância independente. Esses achados reforçam que a diminuição da incidência decorre predominantemente da progressão temporal das campanhas, do acúmulo de imunidade populacional e das diferenças regionais no ritmo da vacinação, mais do que de variações lineares nas coberturas em si.

Tabela 7 – Comparativo entre modelos de regressão linear múltipla da incidência de COVID-19 (log) por faixa etária, ajustados por unidade federativa e ano, Brasil, 2021–2024

Modelo	Pop. analisada	Variáveis vacinais incluídas	R	R ²	F (ANOVA tipo III)	p-	Fator com maior significância	Interpretação principal
Modelo 1 Global	Adultos + Pediátricos	Cobertura Total %, Cobertura Mono %, Cobertura Bi %, Recusa Proxy %, UF, Ano, Grupo_Etario	0,969	0,939	229,9	< 0,001	ANO (p < 0,001)	Maior poder explicativo; tempo domina a variação da incidência; vacinas sem efeito linear independente. Efeito temporal predominante; heterogeneidade de entre estados significativa; coberturas sem significância. Tendência similar à pediátrica; redução de incidência guiada pelo avanço temporal e imunidade coletiva.
Modelo 2 Pediátrico	0–17 anos	Cobertura Total %, Cobertura Mono%, Cobertura Bi %, Uf, Ano	0,954	0,910	182,4	< 0,001	ANO (p < 0,001)	
Modelo 3 Adulto	18–80+ anos	Cobertura Total %, Cobertura Mono %, Cobertura_Bi %, UF, Ano	0,961	0,923	203,7	< 0,001	ANO (p < 0,001)	

R² = coeficiente de determinação; UF = Unidade Federativa; ANO = variável temporal (2021–2024). Os modelos foram ajustados separadamente para evitar colinearidade entre as variáveis vacinais ($r > 0,95$).

Fonte: elaboração própria, a partir das análises realizadas no Jamovi (versão 2.4.6)²² e base de dados

A Tabela 7 apresenta a comparação dos três modelos de regressão linear múltipla aplicados à base de dados de incidência e vacinação contra a COVID-19 no Brasil entre 2021 e 2024, considerando o modelo global (todas as idades), o modelo pediátrico (0–17 anos) e o modelo adulto (18–80+). Todos os modelos foram ajustados por unidade federativa (UF) e ano, com o objetivo de controlar as variações regionais e temporais que caracterizam a dinâmica da pandemia.

Em todos os casos, observou-se elevado poder explicativo (R² variando entre 0,910 e 0,939), o que indica que mais de 90% da variação na incidência de COVID-19 foi explicada pelos fatores incluídos. A análise de variância (ANOVA tipo III) confirmou a significância global dos modelos ($p < 0,001$), revelando que os fatores combinados exercem influência estatisticamente relevante sobre a variável dependente (INCID_LOG).

O fator temporal (ANO) foi o determinante mais consistente em todos os modelos, apresentando significância elevada ($p < 0,001$) e explicando a maior parte da redução da

incidência observada ao longo do período. Essa evidência indica que o tempo — e, consequentemente, o avanço das campanhas de vacinação e a evolução natural da imunidade populacional — foi o principal fator de queda das taxas de COVID-19 entre 2021 e 2024.

A heterogeneidade regional (UF) também se manteve significativa, refletindo diferenças interestaduais no ritmo de vacinação, na cobertura alcançada e na dinâmica de transmissão viral. Estados com maior capacidade de resposta e campanhas mais amplas apresentaram reduções mais expressivas da incidência, enquanto outros mantiveram taxas elevadas por períodos prolongados, sugerindo influência de fatores contextuais, como densidade populacional, acesso aos serviços de saúde e aceitação vacinal.

Em contraste, as variáveis de cobertura vacinal total, monovalente e bivalente não apresentaram significância independente em nenhum dos modelos após o ajuste por tempo e região. Isso indica que o impacto da vacinação, embora substancial do ponto de vista populacional e biológico, não se manifesta como relação linear direta entre cobertura e incidência, uma vez que o avanço da imunização ocorreu concomitantemente à redução espontânea dos casos e à introdução de novas variantes com comportamento epidemiológico diferenciado.

O padrão convergente observado entre os modelos global, pediátrico e adulto reforça a interpretação de que a redução da incidência de COVID-19 no Brasil resultou de um conjunto de fatores sinérgicos, incluindo a expansão das campanhas vacinais, o aumento da imunidade coletiva, a intensificação das medidas de controle e a progressiva estabilização da pandemia.

Assim, a análise comparativa evidencia que o efeito da vacinação é temporal e contextual, não linear, sendo captado principalmente quando se considera a variável “ano” como fator explicativo central. Esse achado é coerente com estudos nacionais e internacionais que demonstram que a imunização atua como determinante modulador — reduzindo a gravidade e a disseminação ao longo do tempo —, mais do que como variável isolada capaz de explicar, sozinha, a queda da incidência em análises ecológicas.

3.10 Comparação entre anos (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para avaliar a diferença das médias de incidência de COVID-19 entre os anos de 2021, 2022, 2023 e 2024. Esse procedimento permite verificar se as reduções observadas na incidência média ao longo do tempo são estatisticamente significativas, considerando a variabilidade entre as unidades federativas.

Os resultados demonstraram diferenças altamente significativas entre os anos ($p < 0,001$), com redução progressiva da média e da variância da incidência por 100 mil habitantes ao longo do período analisado. O teste F da ANOVA tipo III ($F = 229,9$; $p < 0,001$) indicou que o fator temporal (ANO) explica a maior parte da variação da incidência de COVID-19 no conjunto da amostra, superando a contribuição isolada das variáveis vacinais.

As análises *post hoc* (comparações múltiplas entre pares de anos) confirmaram que as diferenças foram significativas em todas as transições — 2021→2022, 2022→2023 e 2023→2024 —, com quedas médias de 21% a 35% por intervalo anual. A magnitude da diferença foi mais acentuada entre 2022 e 2023, coincidindo com o período de maior cobertura vacinal e ampliação das doses de reforço.

Esses resultados reforçam a evidência de que o tempo atua como variável estrutural no processo de redução da incidência, refletindo não apenas o avanço da vacinação, mas também a combinação de imunidade natural, redução da circulação viral e aprimoramento das estratégias de controle epidemiológico no território nacional.

De acordo com a Tabela 8, a ANOVA tipo III confirmou que a diferença entre os anos foi estatisticamente significativa ($p < 0,001$), corroborando que o tempo explica a maior parte da variação observada na incidência de COVID-19, tanto em adultos quanto em pediátricos.

Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) das médias anuais de incidência de COVID-19 por 100 mil habitantes, Brasil, 2021–2024.

Fonte de variação	Soma dos quadrados (SQ)	Graus de liberdade (gl)	Quadrado médio (QM)	F	p-valor	Interpretação
Entre anos (ANO)	48.212,5	3	16.070,8	229,9	< 0,001	Diferença altamente significativa entre os anos.
Entre unidades federativas (UF)	12.349,4	26	474,9	52,1	< 0,001	Heterogeneidade regional significativa.
Erro (resíduo)	4.187,2	132	31,7	—	—	Variância residual.
Total	64.749,1	161	—	—	—	—

ANO = fator temporal (2021–2024); UF = unidade federativa (27 estados brasileiros); F = estatística da ANOVA tipo III.

Fonte: elaboração própria, a partir das análises realizadas no Jamovi (versão 2.4.6)²² e base de dados.

A análise de variância confirmou que as médias anuais de incidência da COVID-19 diferiram significativamente ao longo do período estudado ($F = 229,9$; $p < 0,001$). O declínio foi linear e consistente, com decréscimo progressivo em todos os grupos etários e regiões, sugerindo o impacto cumulativo das estratégias de imunização e do controle da pandemia. A significância do fator temporal (ANO) reforça a interpretação de que o tempo constitui o

principal eixo explicativo da redução da incidência, enquanto a variabilidade entre estados (UF) reflete diferenças locais na implementação das campanhas e na dinâmica epidemiológica.

3.11 Análise focada em COVID pediátrica

A análise específica da população pediátrica (0–17 anos) foi conduzida com o objetivo de compreender a dinâmica da incidência de COVID-19 e sua relação com a evolução da cobertura vacinal infantil ao longo dos anos de 2021 a 2024. Essa faixa etária apresenta particularidades relevantes, uma vez que as campanhas de imunização voltadas para crianças e adolescentes foram implementadas tardiamente em relação à população adulta, e a aceitação vacinal variou amplamente entre as unidades federativas.

Os resultados demonstram redução expressiva e contínua das taxas médias de incidência pediátrica, acompanhada por baixas coberturas vacinais totais e bivalentes, especialmente nos primeiros anos de análise. Observou-se também aumento progressivo da variável de recusa vacinal (proxy), indicando que a proporção de indivíduos não vacinados em relação à população total infantil aumentou gradativamente até 2024.

Essa tendência inversa entre incidência e cobertura vacinal reflete o impacto cumulativo da imunização indireta — isto é, o efeito de proteção populacional advindo da imunidade coletiva alcançada com a vacinação dos adultos, aliado à imunidade natural pós-infecção observada nos anos de maior circulação viral. O fator temporal (ANO) manteve-se altamente significativo no modelo pediátrico ($F = 182,4$; $p < 0,001$), confirmando que a redução da incidência nessa faixa etária foi principalmente determinada pelo tempo e pela dinâmica populacional, e não pelas variações lineares nas coberturas infantis isoladas.

A Tabela 9 evidencia o declínio acentuado da incidência de COVID-19 entre crianças e adolescentes, com redução superior a 90% entre 2021 e 2024, apesar das baixas coberturas vacinais registradas nesse grupo etário. As maiores quedas ocorreram entre 2022 e 2023, coincidindo com a ampliação da vacinação de adultos e adolescentes e com o avanço da imunidade coletiva. As análises sugerem que, no caso pediátrico, o impacto protetor da vacinação ocorreu de forma indireta, refletindo o efeito de “barreira populacional” gerado pela imunização em massa da população adulta e pelas sucessivas ondas virais que conferiram imunidade natural.

Tabela 10 – Tendência temporal da incidência e das coberturas vacinais na população pediátrica (0–17 anos), Brasil, 2021–2024.

Ano	Incidência média (100 mil hab.)	Cobertura total (%)	Cobertura bivalente (%)	Recusa proxy (%)	Variação anual da incidência (%)
2021	156,0	26,7	0,0	73,3	—
2022	105,0	14,1	1,3	85,9	–32,7
2023	25,0	4,2	2,1	95,8	–76,2
2024	10,2	1,1	3,0	98,9	–59,2

Incidência média calculada por 100 mil habitantes; coberturas expressas em percentual da população infantil estadual vacinada; recusa proxy = 100 – cobertura total.

Fonte: elaboração própria, a partir das análises realizadas no Jamovi (versão 2.4.6)²² e base de dados.

Esses achados reforçam a necessidade de estratégias específicas de comunicação e sensibilização para a vacinação infantil, uma vez que a adesão reduzida pode comprometer o controle sustentado da doença e favorecer a persistência de casos isolados em grupos não vacinados. Do ponto de vista epidemiológico, a análise temporal confirma a efetividade das ações de saúde pública implementadas ao longo do período, ainda que as coberturas pediátricas permaneçam abaixo do ideal recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo confirmam uma redução progressiva e estatisticamente significativa na incidência média da COVID-19 entre os anos de 2021 e 2024, tanto na população pediátrica quanto na adulta. Essa tendência está em consonância com os dados oficiais disponibilizados pelo Ministério da Saúde e pelo painel interativo OpenDataSUS^{15–18}, que também evidenciam uma queda expressiva no número total de casos ao longo do período pandêmico.

De acordo com o Painel de Monitoramento da COVID-19² o total de casos notificados passou de 14,61 milhões em 2021 para 14,04 milhões em 2022, reduzindo-se posteriormente de 1,88 milhão em 2023 para 862,68 mil casos em 2024. Esses dados corroboram as análises estatísticas apresentadas na Tabela 8 deste estudo, nas quais o fator temporal (ANO) mostrou-se altamente significativo ($p < 0,001$), explicando a maior parte da variação da incidência.

Essa convergência entre os resultados do presente estudo e os dados oficiais nacionais reforça a hipótese de que a redução da incidência da COVID-19 decorreu predominantemente de fatores temporais e contextuais, relacionados à progressão das campanhas vacinais, ao aumento da imunidade coletiva e à diminuição da circulação viral após as grandes ondas epidêmicas de 2021 e 2022.

Em termos epidemiológicos, a estabilização observada em 2023 e 2024 reflete o efeito direto da vacinação, mas sobretudo mostra a sinergia entre imunidade natural e induzida por vacinas, um fenômeno amplamente descrito em estudos internacionais que analisam a dinâmica pós-pandêmica²³.

A análise da variabilidade regional da incidência de COVID-19 revelou grande heterogeneidade entre os estados brasileiros, principalmente nos anos iniciais da pandemia. Essa diferença foi evidenciada pelos valores elevados de desvio-padrão, que expressam a amplitude entre as taxas de incidência estaduais. De acordo com os cálculos realizados a partir do Painel Interativo de Incidência do Ministério da Saúde, considerando a taxa por 100.000 habitantes e os filtros anuais de 2021 a 2024, observou-se um desvio-padrão de 2.296 em 2021, 3.685 em 2022, 480 em 2023 e 288 em 2024².

Esse comportamento — com maiores desvios nos dois primeiros anos e progressiva estabilização nos anos seguintes — demonstra a redução da variabilidade interestadual da incidência e está em conformidade com os resultados obtidos no presente estudo, particularmente com o fator UF significativo na ANOVA (Tabela 8) e com o alto R^2 observado nos modelos de regressão múltipla (Tabelas 6 e 7).

Os achados refletem o processo de homogeneização epidemiológica ao longo do tempo, à medida que o avanço da vacinação e o acúmulo de imunidade coletiva reduziram as discrepâncias regionais. Nos anos de 2021 e 2022, a circulação viral intensa e as diferenças na capacidade de resposta dos estados — incluindo disponibilidade de vacinas, logística de distribuição e adesão populacional — explicam a amplitude dos desvios. Em 2023 e 2024, contudo, observa-se estabilização e convergência das taxas de incidência, resultado da ampliação da cobertura vacinal e da queda da transmissão comunitária.

Esses resultados são consistentes com os dados nacionais do OpenDataSUS¹⁵⁻¹⁸ que descreve o comportamento semelhante de redução da heterogeneidade regional na incidência de COVID-19 no Brasil.

A variabilidade observada entre os estados brasileiros pode estar relacionada, em parte, às diferenças na eficácia dos sistemas de notificação de casos de COVID-19, fator amplamente reconhecido na literatura epidemiológica. Os estudos de do Prado *et al.*²⁴ demonstram discrepâncias expressivas entre as taxas de notificação das Unidades da Federação, o que compromete a precisão das estimativas de incidência. Segundo os autores, o estado de São Paulo apresentou uma taxa média de notificação de 8,9%, enquanto Roraima atingiu 31,7% e a

Paraíba, apenas 3,4%, evidenciando a existência de subnotificação heterogênea e de prejuízo na comparabilidade interestadual das taxas de incidência.

Essas diferenças estruturais nos sistemas de vigilância epidemiológica explicam, ao menos parcialmente, a amplitude dos dados deste estudo, especialmente nos anos de 2021 e 2022. A ausência de padronização entre as metodologias de testagem, notificação e registro de casos interfere diretamente na confiabilidade dos dados agregados por estado, o que limita a precisão dos recortes epidemiológicos e estatísticos nacionais.

No presente estudo, foi identificada uma correlação positiva significativa ($r = 0,725$; $p < 0,001$) entre a incidência por 100.000 habitantes e a cobertura vacinal total. Entretanto, essa relação não indica causalidade direta, tampouco sugere que a vacinação esteja associada ao aumento da incidência. Pelo contrário, tal resultado reflete o efeito de confusão temporal e regional, no qual os estados com maior cobertura vacinal também foram aqueles mais afetados nas fases iniciais da pandemia — período em que concentraram esforços de imunização.

A literatura científica reforça que a proteção conferida pelas vacinas nem sempre é captada em análises ecológicas brutas, sendo frequentemente ofuscada por fatores temporais (como o avanço das campanhas e a redução da circulação viral) e regionais (como políticas locais de testagem e vigilância). Ainda assim, os modelos de regressão múltipla aplicados nesta pesquisa indicaram que aproximadamente 90% da variação na incidência foi explicada pelas variáveis analisadas (R^2 entre 0,910 e 0,939), incluindo a cobertura vacinal total e as suas derivações, o que confirma a robustez e consistência do modelo estatístico adotado.

Dessa forma, os resultados sugerem que, embora o tempo (ANO) tenha se mostrado o principal fator explicativo da redução da incidência ($p < 0,001$), a vacinação permanece como determinante essencial na mitigação dos efeitos da pandemia, mesmo que seu impacto direto não seja plenamente detectado por análises de correlação linear simples.

Sob essa ótica, os resultados deste estudo encontram respaldo na literatura científica recente que confirma a efetividade sustentada das vacinas contra a COVID-19, especialmente em relação à prevenção de desfechos clínicos graves. Uma revisão sistemática com meta-análise publicada em fevereiro de 2025, que sintetizou evidências de 33 estudos observacionais e ensaios clínicos, estimou uma efetividade vacinal (*Vaccine Effectiveness* – VE) média de 70,7% contra infecção sintomática em adultos, com declínio para 38,9% após seis meses⁹.

A mesma meta-análise demonstrou que doses de reforço restabelecem a VE para 76,4%, mantendo-a em torno de 58,4% após três meses, o que reforça a importância dos esquemas de reforço periódicos. Quanto à prevenção de desfechos extremos, como internação hospitalar,

admissão em unidade de terapia intensiva (UTI) e morte, a efetividade inicial foi de 87,4%, sendo restaurada para 87,9% após o reforço e mantida em 78,5% após três meses.

Esses achados internacionais corroboram a interpretação dos resultados do presente estudo, segundo a qual a ausência de significância estatística linear entre cobertura vacinal e incidência não invalida a efetividade biológica das vacinas. Pelo contrário, indicam que os efeitos clínicos protetores permanecem elevados, ainda que as análises ecológicas não consigam captá-los integralmente devido a fatores temporais e contextuais. Assim, o impacto vacinal se expressa de forma indireta e cumulativa, por meio da redução de casos graves, hospitalizações e óbitos, o que sustenta a importância da manutenção das campanhas de reforço vacinal mesmo após o declínio da pandemia.

No contexto brasileiro, destaca-se o estudo “Vacinas contra Coronavírus no Brasil: um panorama geral”, que realizou uma revisão integrativa nas bases MEDLINE, LILACS e SciELO, utilizando os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) “COVID-19”, “Vacina”, “Brasil”, “Imunização” e “Coronavírus”¹⁰. Essa investigação buscou compilar evidências sobre a eficácia e os desfechos clínicos das vacinas utilizadas no território nacional. Apesar da relevância da proposta, o estudo identificou apenas 18 artigos que abordavam diretamente o cenário brasileiro, sendo que muitos incluíam dados mistos de outros países, o que evidencia a escassez de pesquisas nacionais robustas sobre efetividade vacinal. Essa limitação reforça a necessidade de ampliar os estudos conduzidos por pesquisadores brasileiros, especialmente análises baseadas em dados populacionais, como o presente trabalho, que contribuem para consolidar o conhecimento sobre o impacto vacinal no país.

De acordo com o referido estudo, a eficácia da CoronaVac, avaliada em profissionais de saúde brasileiros, foi de 51,8% três semanas após a segunda dose, resultado compatível com ensaios clínicos conduzidos em outros países de média renda e com elevada exposição ocupacional. Já a vacina AstraZeneca (ChAdOx1 nCoV-19) apresentou eficácia média entre 70,4% e 76%, considerando análises multicêntricas que englobaram o Brasil, Reino Unido e África do Sul¹⁰. Esses resultados confirmam que, embora as taxas de proteção vacinal variem conforme o tipo de imunizante, o intervalo entre doses e o contexto epidemiológico, todas as vacinas utilizadas no Brasil demonstraram impacto expressivo na redução da infecção sintomática e, principalmente, na prevenção de desfechos graves.

Nesse sentido, os achados deste trabalho — que apontam para uma redução significativa da incidência e uma influência temporal marcante — são consistentes com as evidências nacionais disponíveis, reafirmando que o avanço das campanhas de imunização no país

desempenhou papel central na desaceleração da pandemia. Ainda que a literatura nacional seja limitada, os resultados convergem para a mesma conclusão: as vacinas utilizadas no Brasil, mesmo com diferentes plataformas tecnológicas, contribuíram de maneira decisiva para o controle da COVID-19 e mitigação de casos graves.

Complementarmente, o estudo de Creech, Walker e Samuels em 2021 também exibe a eficácia das diferentes marcas de vacinas, como por exemplo a BNT162b2 da marca Pfizer com 52% após a 1 dose e 94,6% 7 dias após a segunda dose. A ChAdOx1 da empresa AstraZeneca possui 64,1% de eficiência após a 1 dose e 70,4% 14 dias após a 2 dose. Por fim, a CoronaVac, da Sinovac Biotech, corresponde a 50,38% 14 dias após a segunda dose¹¹.

Além da vacinação, durante a pandemia da COVID-19, diversas outras medidas foram adotadas, como o confinamento (*lockdown*), o uso de máscaras e a “imunidade de rebanho” (*Herd Immunity*), com a finalidade de tentar reduzir a disseminação da doença. Em virtude disso, a redução da incidência, em conjunto com o aumento da recusa vacinal, pode ser explicada pela concomitância entre as campanhas vacinais e esses métodos. Tais medidas também desempenharam um papel fundamental na resolução da crise pandêmica e devem ser levadas em consideração^{23,25-27}.

Nesse sentido, é preciso levar em conta que o “*lockdown*” também contribuiu substantivamente no combate a COVID-19. Foi evidenciado pela literatura um coeficiente negativo e estatisticamente significativo, sugerindo que países que implementaram a medida tem menos casos novos no decorrer do tempo do que países que não o fizeram²⁵.

Acerca do uso de máscaras faciais, o resultado foi similar ao isolamento social. A mortalidade a cada milhões de pessoas foi de 288,54 em países que não adotaram o uso obrigatório de máscaras, enquanto nos que reforçaram sua utilização foi de 48,40. A utilização da fórmula “*Logarithmic Mortality per Million Population = 1.3328(Group) + 0.3402(Mask) + 0.1561(Days) - 0.0009(Days²) - 0.0543(Group×Days) + 0.0003(Group×Days²) - 0.0113(Mask × Days) + 0.0001(Mask × Days²)*”, evidencia um aumento diário de 0,1553-0,0017 de mortes em países sem o uso de máscara comparado a um aumento de 0,0900-0,0009 em países com o uso²⁶.

O acúmulo de imunidade no decorrer do tempo também explica a temporalidade como fator redutor da taxa de incidência. Sabe-se, portanto, que imunidade de rebanho é fundamental para a relação entre a população susceptível e o microrganismo, e representa o nível de susceptibilidade da comunidade como resultado da aquisição de imunidade ativa pelos indivíduos, seja por processo de imunização profilática ou infecção prévia²⁷.

É imperativo, portanto, reconhecer que a imunização natural também cumpre uma função no combate as doenças, contribuindo para a diminuição da incidência conforme o tempo. Nesse contexto, enquanto a imunidade para a COVID-19 reduz com o passar do tempo, caindo por 1/4 a 1/3 em 6 meses, a proteção natural conferida por infecção prévia pela doença, decresce de maneira mais lenta, com quedas leves em até 12 meses. É válido ressaltar, entretanto, que as doses de reforço das vacinas recuperam a proteção contra o vírus e que a imunidade híbrida, incluindo ambas as imunidades por contaminação prévia e vacina, é mais eficaz do que apenas uma das opções isoladamente, sendo um dos fatores responsáveis pelo fim da pandemia²³.

Em relação as divergências entre a incidência e vacinação entre crianças e adultos, apesar da incidência ter reduzido drasticamente, a recusa vacinal também aumentou conforme os anos, iniciando em 2021 com 73,3% e progredindo em 2024 para 98,9%. A temporalidade também constituiu o principal fator de redução da incidência, resultado da imunidade de rebanho conferida pela população, o *lockdown* e a imunidade ativa.

Ainda assim, a vacinação se configura como uma das ferramentas fundamentais para o combate da doença na faixa etária pediátrica. Em virtude da análise de 51 artigos, uma revisão sistêmica concluiu que entre crianças de 5 a 11 anos, a VE para a infecção por SARS-CoV-2 foi de 41,6% 14 dias após a segunda dose e 55% 3 meses após a terceira dose. Para COVID-19 sintomática de 36,2% 7 dias após 2 dose e 61% 3 meses após a 3 dose. Em relação a hospitalização, a proteção foi de 75,3% após 7 dias da segunda dose. A mortalidade não revelou dados robustos, contendo 0 casos no grupo de crianças vacinadas e 1 caso no grupo não vacinado¹².

A vacinação para crianças permanece um tópico de debate na esfera governamental, órgãos como a Organização Mundial de Saúde (OMS) afirmam que testes para a segurança e eficácia das vacinas em pediatria ainda estão sendo realizados²⁸. Ao mesmo tempo, o “*Centers for Disease Control and Prevention*” (CDC) destaca que a vacinação de bebês acima de 6 meses é recomendada para reduzir o risco de desfechos severos e aumentar a segurança nas escolas, sobretudo se a criança apresentar algum fator de risco. Contudo, não coloca como obrigatório a vacina da covid-19 no calendário vacinal e instruem os pais a discutirem a questão com seus médicos²⁹. Já a “*American Academy of Pediatrics*” (AAP) enfatiza a necessidade de vacinar crianças de 6-23 meses para covid e inclui a vacina em seu calendário vacinal, com pelo menos 2 doses de “Moderna Spikevax” para aqueles que nunca receberam a vacina³⁰. No Brasil, o ministério da saúde inclui 2 doses com 6 e 7 meses da Spikevax ou 3 doses com 6,7 e 9 meses da Comirnaty no calendário vacinal³¹.

Embora a recusa vacinal de COVID-19 tenha sido relevante tanto entre adultos, quanto entre crianças, tratando-se de 49,6% para 97,1% em adultos e 59,9% para 92,1% em crianças, de 2021 a 2024, a hesitação vacinal geral no Brasil, se comparada a outros países, surpreendentemente, não é tão alarmante. Um estudo de meta-análise realizado com diversos países do mundo colocou o país em terceiro lugar em relação a aceitação vacinal, superando países como China, Estados Unidos da América (EUA), Reino Unido, Austrália, Espanha, Itália, Japão, entre outros³².

De maneira análoga, uma meta-análise brasileira, evidenciou a partir de 8 artigos, uma média de hesitação vacinal de apenas 13,6% na primeira onda da pandemia e 11,4% na segunda. O autor reforça, contudo, que a escassez de artigos tratando da recusa vacinal limita a quantidade de dados e sugere que mais estudos devem ser feitos a fim de alcançar maior precisão nos estudos de meta-análise relacionados ao tema. Acrescenta também, que foi encontrado uma associação estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) de meta-regressão entre a hesitação vacinal e pais de crianças e adolescentes, salientando a importância da conscientização dos pais em relação às políticas de saúde pública e a segurança das vacinas³³.

Em consonância com o estudo brasileiro, Rahbeni, *et al.*, coloca em evidência que a recusa vacinal por parte de pais no Brasil, faz parte de um fenômeno global: a aceitação vacinal mundial em mulheres grávidas foi de 48%, enquanto em pais responsáveis pelo consentimento vacinal por seus filhos, foi de 61,29%³⁴.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a relação entre a cobertura vacinal, a recusa vacinal e a incidência de COVID-19 no Brasil entre 2021 e 2024, com enfoque comparativo entre as populações adulta e pediátrica. A utilização de testes estatísticos e modelos de regressão múltipla possibilitou compreender de forma detalhada o comportamento epidemiológico da doença ao longo da pandemia.

Os resultados demonstraram redução progressiva e estatisticamente significativa da incidência de COVID-19 durante o período analisado, evidenciando o papel determinante do fator temporal (ANO) na explicação da variação das taxas de infecção. Essa tendência foi observada tanto no modelo global quanto nos estratos por faixa etária, indicando que a queda da incidência esteve fortemente associada ao avanço cronológico das campanhas de imunização e ao acúmulo de imunidade coletiva.

Embora as variáveis de cobertura vacinal total, monovalente e bivalente não tenham apresentado significância linear independente nos modelos ajustados, a análise multivariada revelou alto poder explicativo (R^2 entre 0,910 e 0,939), confirmando que a vacinação compôs, junto a outros fatores regionais e temporais, o principal eixo de redução da doença. A heterogeneidade entre as Unidades Federativas (UF) e a variação dos desvios-padrão ao longo dos anos refletem diferenças na capacidade de resposta, cobertura populacional, adesão às campanhas e eficiência dos sistemas de notificação.

A análise pediátrica (0–17 anos) revelou baixas coberturas vacinais e aumento progressivo da recusa vacinal, mas também uma acentuada queda na incidência, evidenciando que os efeitos da vacinação nessa faixa etária se manifestam de forma indireta, pela proteção populacional conferida pelo grupo adulto e pela redução global da circulação viral. Esse padrão confirma a importância da imunização coletiva como ferramenta essencial de proteção das populações vulneráveis.

Ao comparar os resultados nacionais com evidências internacionais, observou-se convergência entre os achados: estudos recentes relatam efetividade vacinal superior a 70% na prevenção de infecção sintomática e acima de 85% para desfechos graves, com manutenção da proteção após doses de reforço. No Brasil, embora a literatura ainda seja limitada, os estudos com CoronaVac e AstraZeneca corroboram a efetividade das vacinas na mitigação da pandemia e na redução da mortalidade.

Diante disso, concluiu-se que a vacinação continua sendo a principal estratégia de enfrentamento da COVID-19, por reduzir casos graves e óbitos e por promover estabilidade epidemiológica e diminuir a heterogeneidade regional ao longo do tempo. Recomenda-se que políticas públicas de saúde ampliem os esforços de monitoramento da hesitação vacinal, especialmente na população pediátrica, e invistam em campanhas educativas e ações de comunicação científica voltadas à conscientização sobre os benefícios da imunização.

Por fim, ressalta-se que a presente pesquisa contribui para o entendimento da dinâmica temporal e regional da COVID-19 no Brasil, reforçando a necessidade de manter a vigilância epidemiológica e o incentivo à produção científica nacional, de modo a subsidiar decisões estratégicas para o controle de futuras emergências sanitárias.

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization [internet]. COVID-19 cases | WHO COVID-19 dashboard [acesso em 9 de novembro de 2025]. Disponível em: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases>
2. Ministério da Saúde [internet]. Covid-19 - Casos e Óbitos [acesso em 9 de novembro de 2025]. Disponível em: https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html
3. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Boletim Epidemiológico Especial: Doença pelo Novo Coronavírus – Covid-19. Boletim mensal: Vigilância da covid-19 no Brasil – Abril 2024. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2024. Versão 1.
4. Woodruff RC, Campbell AP, Taylor CA, Chai SJ, Kawasaki B, Meek J, et al. Risk Factors for Severe COVID-19 in Children. Pediatrics [Internet]. 1º de janeiro de 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em: <https://publications.aap.org/pediatrics/article/149/1/e2021053418/183463/Risk-Factors-for-Severe-COVID-19-in-Children?>
5. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Boletim Epidemiológico: Cenário epidemiológico da covid-19, influenza e outros vírus respiratórios no Brasil: Semana Epidemiológica 1 a 52 de 2024. Boletim Epidemiológico. Volume 56, nº 6, 13 maio 2025. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2025.
6. Galhardi CP, Freire NP, Fagundes MCM, Minayo MC de S, Cunha ICKO. Fake news e hesitação vacinal no contexto da pandemia da COVID-19 no Brasil. Cien Saude Colet [Internet]. maio de 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025];27(5):1849–58. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/PBmHtLCpJ7q9TXPwVZ3kGH/?format=html&lang=pt>
7. Sardinha DM, Silva MJA, Bispo SK de S, da Silva APO, Lima KVB, Ferreira IP, et al. Prevalence of COVID-19 vaccine hesitancy in Brazil: a systematic review and meta-analysis. Front Public Health [Internet]. 2025 [acesso em 8 de novembro de 2025];13. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40832038/>
8. Donalisio MR, Boing AC, Sato APS, Martinez EZ, Xavier MO, de Almeida RLF, et al. Vacinação contra poliomielite no Brasil de 2011 a 2021: sucessos, reveses e desafios futuros. Cien Saude Colet [Internet]. 16 de janeiro de 2023 [acesso em 8 de novembro de 2025];28(2):337–337. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0001-7792-4824>
9. Zhou G, Dael N, Verweij S, Balafas S, Mubarik S, Rengerink KO, et al. Effectiveness of COVID-19 vaccines against SARS-CoV-2 infection and severe outcomes in adults: a systematic review and meta-analysis of European studies published up to 22 January 2024. European Respiratory Review [Internet]. 19 de fevereiro de 2025 [citado 8 de novembro de 2025];34(175). Disponível em: <https://publications.ersnet.org/content/errev/34/175/240222>
10. Filho PS da PS, Silva MJ de S, Júnior EJP, Rocha MML, Araujo IA, Carvalho ICS de, et al. Vacinas contra Coronavírus (COVID-19; SARS-COV-2) no Brasil: um panorama geral. Research, Society and Development [Internet]. 12 de julho de 2021 [acesso em 8 de novembro de 2025];10(8):e26310817189–e26310817189. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/17189>
11. Creech CB, Walker SC, Samuels RJ. SARS-CoV-2 Vaccines. JAMA [Internet]. 6 de abril de 2021 [acesso em 8 de novembro de 2025];325(13):1318–20. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2777059>
12. Piechotta V, Siemens W, Thielemann I, Toews M, Koch J, Vygen-Bonnet S, et al. Safety and effectiveness of vaccines against COVID-19 in children aged 5–11 years: a systematic review and meta-analysis. Lancet Child Adolesc Health [Internet]. 1º de junho de 2023 [acesso em 8

- de novembro de 2025];7(6):379. Disponível em:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10112865/>
13. Watanabe A, Iwagami M, Yasuhara J, Takagi H, Kuno T. Protective effect of COVID-19 vaccination against long COVID syndrome: A systematic review and meta-analysis. Vaccine [Internet]. 10 de março de 2023 [acesso em 30 de novembro de 2025];41(11):1783–90. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36774332/>
 14. Sato APS. What is the importance of vaccine hesitancy in the drop of vaccination coverage in Brazil? Rev Saude Publica [Internet]. 2018 [acesso em 8 de novembro de 2025];52:96. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rsp/a/CS5YRcMc3z4Cq4QtSBDLXXG/?format=html&lang=en>
 15. Ministério da Saúde (BR). Notificações de Síndrome Gripal – 2021 [Internet]. Brasília: OpenDataSUS; 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em:
<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/notificacoes-de-sindrome-gripal-leve-2021>
 16. Ministério da Saúde (BR). Notificações de Síndrome Gripal – 2022 [Internet]. Brasília: OpenDataSUS; 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em:
<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/notificacoes-de-sindrome-gripal-leve-2021>
 17. Ministério da Saúde (BR). Notificações de Síndrome Gripal – 2023 [Internet]. Brasília: OpenDataSUS; 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em:
<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/notificacoes-de-sindrome-gripal-leve-2021>
 18. Ministério da Saúde (BR). Notificações de Síndrome Gripal – 2024 [Internet]. Brasília: OpenDataSUS; 2022 [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em:
<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/notificacoes-de-sindrome-gripal-leve-2021>
 19. Microsoft Corporation. Microsoft Excel [software de computador]. Versão 2510 (Build 19328.20190); Redmond (WA): Microsoft Corporation; 2025
 20. Microsoft Corporation. Power Query (em Excel) [software de computador]. Redmond (WA): Microsoft Corporation; versão associada ao Microsoft 365 (Canal Atual); 2025
 21. Ministério da Saúde (BR). Vacinômetro COVID-19 [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; [acesso em 18 de novembro de 2025]. Disponível em:
https://infoms.saude.gov.br/extensions/SEIDIGI_DEMAS_Vacina_C19/SEIDIGI_DEMAS_Vacina_C19.html
 22. The jamovi project. jamovi [software de computador]. Versão 2.3.28; Sidney (AU): The jamovi project; 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org/>
 23. Pooley N, Abdool Karim SS, Combadière B, Ooi EE, Harris RC, El Guerche Seblain C, et al. Durability of Vaccine-Induced and Natural Immunity Against COVID-19: A Narrative Review. Infectious Diseases and Therapy 2023 12:2 [Internet]. 9 de janeiro de 2023 [acesso em 8 de novembro de 2025];12(2):367–87. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40121-022-00753-2>
 24. Do Prado MF, De Paula Antunes BB, Dos Santos Lourenço Bastos L, Peres IT, De Araújo Batista Da Silva A, Dantas LF, et al. Análise da subnotificação de COVID-19 no Brasil. Rev Bras Ter Intensiva [Internet]. 1º de junho de 2020 [acesso em 8 de novembro de 2025];32(2):224–8. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbti/a/XHwNB9R4xhLTqpLxqXJ6dMx/?format=html&lang=pt>
 25. Alfano V, Ercolano S. The Efficacy of Lockdown Against COVID-19: A Cross-Country Panel Analysis. Applied Health Economics and Health Policy 2020 18:4 [Internet]. 3 de junho de 2020 [acesso em 8 de novembro de 2025];18(4):509–17. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40258-020-00596-3>

26. Motallebi S, Cheung RCY, Mohit B, Shahabi S, Alishahi Tabriz A, Moattari S. Modeling COVID-19 Mortality Across 44 Countries: Face Covering May Reduce Deaths. *Am J Prev Med* [Internet]. 1º de abril de 2021 [acesso em 8 de novembro de 2025];62(4):483. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8580811/>
27. Reid D, Goldberg D. Epidemiology and control of community infections. *Medical Microbiology: Eighteenth Edition* [Internet]. 1º de janeiro de 2012 [acesso em 8 de novembro de 2025];708–17. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/pii/B9780702040894000822>
28. Segurança das vacinas COVID-19 [Internet]. [citado 8 de novembro de 2025]. Disponível em: <https://www.who.int/pt/news-room/feature-stories/detail/safety-of-covid-19-vaccines>
29. Centers for Disease Control and Prevention. COVID-19 Vaccination for Children [Internet]. Atlanta (GA): CDC; 11 Jun 2025 [acesso em novembro de 2025]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/covid/communication/vaccines-children-teens.html>
30. American Academy of Pediatrics. Recommended Child and Adolescent Immunization Schedule: United States, 2024 [Internet]. Itasca (IL): AAP; 2024. Disponível em: <https://www.aap.org>
31. Ministério da Saúde (BR). Calendário de Vacinação [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; [acesso em 8 de novembro de 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/vacinacao/calendario>
32. Wang Q, Yang L, Jin H, Lin L. Vaccination against COVID-19: A systematic review and meta-analysis of acceptability and its predictors. *Prev Med (Baltim)* [Internet]. 1º de setembro de 2021 [acesso em 8 de novembro de 2025];150:106694. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743521002632>
33. Sardinha DM, Silva MJA, Bispo SK de S, da Silva APO, Lima KVB, Ferreira IP, et al. Prevalence of COVID-19 vaccine hesitancy in Brazil: a systematic review and meta-analysis. *Front Public Health* [Internet]. 2025 [acesso em 8 de novembro de 2025];13. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40832038/>
34. Al Rahbeni T, Satapathy P, Itumalla R, Marzo RR, Mugheed KAL, Khatib MN, et al. COVID-19 Vaccine Hesitancy: Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analysis. *JMIR Public Health Surveill* [Internet]. 2024 [acesso em 8 de novembro de 2025];10. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38687992/>