



O Novo Normal? Uma Análise Contrafactual das Taxas de Mortalidade Pós-Covid-19 no Brasil

Área Temática: Metodologias de Análises Atuariais – MAA

Vitória Cássia Oliveira Gomes da Silva

Universidade Federal da Paraíba
vitoriaa.academico@gmail.com

Hugo Vieira Sá Ferreira Gomes

Universidade Federal da Paraíba
hugo.sa@academico.ufpb.br

Filipe Coelho de Lima Duarte

Universidade Federal da Paraíba
fclld@academico.ufpb.br

Resumo

Este estudo objetivou investigar se as taxas específicas de mortalidade da população brasileira retornaram aos níveis esperados para o ano de 2023, após o choque de mortalidade causado pela pandemia de Covid-19. Para isso, foram comparadas as taxas específicas de mortalidade por faixas etárias quinquenais e sexo observadas em 2023 com projeções contrafactuais baseadas em modelos como Lee-Carter, ARIMA e ETS, ajustado com base em dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM) e nas estimativas populacionais do IBGE, combinando retroprojeções (1980-1999) e projeções (2000-2019). O modelo ARIMA apresentou o melhor desempenho preditivo e foi utilizado para a análise principal. Os resultados indicam que, embora a mortalidade tenha retornado aos níveis esperados nas faixas etárias mais avançadas, ainda persistem diferenças relevantes em faixas etárias mais jovens, evidenciando um retorno heterogêneo os níveis esperados de mortalidade para 2023, com base na tendência pré-pandêmica. Essa heterogeneidade pode sugerir mudanças estruturais nos padrões de mortalidade por idade. O teste de Wilcoxon revelou diferenças estatisticamente significativas entre taxas reais e previstas de 2020 a 2022, mas não em 2023. Assim, os achados apontam para um retorno gradual das taxas de mortalidade aos níveis esperados, embora desigual entre as faixas etárias. O estudo contribui ao oferecer evidência empírica sobre o comportamento da mortalidade no primeiro ano completo após o fim da pandemia, em um contexto ainda incerto quanto aos seus efeitos de longo prazo. Além disso, destaca-se a importância de análises contrafactuais e sugere investigações futuras sobre as causas da heterogeneidade e as particularidades regionais do fenômeno.

Palavras-chave: Projeção de mortalidade. Covid-19. Análise contrafactual. ARIMA. Lee-Carter.

1 INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, foi registrado o primeiro caso de Covid-19 na China, que, poucos meses depois, seria oficialmente declarada como uma pandemia. No Brasil, a

pandemia foi caracterizada como Emergência de Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN) em fevereiro de 2020, com o fim dessa classificação em abril de 2022, conforme as Portarias MS/GM n.º 188/2020 e n.º 913/2022, respectivamente (Silva; Santos Júnior, 2024).

Os impactos da pandemia de Covid-19 sobre a mortalidade e, consequentemente, sobre a expectativa de vida no Brasil foram amplamente analisados, com estudos que examinaram a segregação por regiões, unidades federativas, faixas etárias, grupos de causas e sexo (Castro *et al.*, 2021; Orellana; Marrero; Horta, 2022; Schumacher *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2021; Silva; Jardim; Lotufo, 2021; Silva; Duarte; Terra, 2021; Siqueira *et al.*, 2022).

O excesso de mortalidade resultante da pandemia gerou diversas consequências socioeconômicas (Ibn-Mohammed *et al.*, 2021). Na atuária, alguns setores foram diretamente afetados: foram observados impactos do choque da mortalidade na modelagem, precificação e oferta de seguros (Delbrouck; Alonso-García, 2024; Schnürch *et al.*, 2022); e exploradas algumas consequências para o mercado de saúde suplementar (Aranovich; Leandro, 2021; Teixeira *et al.*, 2022).

Embora os efeitos contemporâneos da pandemia sobre a mortalidade, em seus diversos estratos populacionais, sejam amplamente conhecidos e frequentemente caracterizados como um choque de curto prazo, há indícios de que suas repercussões podem se prolongar (Aburto *et al.*, 2022). Isso ocorre porque ainda não se tem clareza sobre a real extensão das transformações provocadas pela Covid-19 nos indicadores de longevidade e no estado geral de saúde da população, o que dificulta a delimitação precisa de seus efeitos de longo prazo (Lima *et al.*, 2021).

Diante desse cenário de incertezas sobre os efeitos prolongados da pandemia, este estudo busca compreender o comportamento da mortalidade brasileira no período posterior à Covid-19. Especificamente, objetiva investigar se as taxas específicas de mortalidade retornaram aos níveis esperados para o ano de 2023, contribuindo assim para uma melhor compreensão da real dimensão temporal dos impactos da pandemia sobre os padrões de mortalidade no país.

Para esse fim, são utilizadas projeções de taxas de mortalidade como uma linha de base contrafactual, ou seja, como representação do que seria esperado para o padrão etário de mortalidade em 2023 caso a pandemia não tivesse ocorrido. Esse tipo de abordagem permite isolar o efeito estrutural da tendência pré-pandêmica, oferecendo uma referência robusta para avaliação do retorno (ou não) à normalidade. A comparação entre as projeções contrafactuais e os valores efetivamente observados fornece evidências empíricas sobre a persistência ou dissipação do choque da Covid-19 nos padrões de mortalidade ao longo do tempo.

Para gerar esse cenário contrafactual, o estudo emprega modelos estatísticos consolidados na literatura de projeção de mortalidade. Modelos multivariados como o de Lee-Carter (Lee; Carter, 1992) e modelos univariados de séries temporais, como ARIMA e ETS, aplicados individualmente às séries de taxas de mortalidade por idade, de modo a explorar sua flexibilidade em faixas etárias com padrões distintos de retorno. Essa combinação metodológica permite avaliar a capacidade preditiva dos modelos e, principalmente, testar empiricamente a hipótese de retomada dos padrões históricos de mortalidade em diferentes segmentos etários da população brasileira.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Diante da necessidade de estimar o retorno dos padrões de mortalidade após a pandemia de Covid-19, este estudo recorre a modelos consolidados de projeção, que

permitem gerar cenários contrafactuais das taxas específicas por idade. A literatura oferece desde abordagens multivariadas, como o modelo de Lee-Carter e suas extensões, até métodos univariados como ARIMA e ETS.

Esta seção é dividida em duas partes: A Seção 2.1 apresenta os principais modelos utilizados na previsão de mortalidade, com destaque para suas formulações, aplicações e limitações; A Seção 2.2 elenca estudos anteriores que avaliaram os impactos da pandemia de Covid-19 sobre a mortalidade em diferentes países e grupos populacionais.

2.1 Projeção de Taxas de Mortalidade

As projeções de taxas de mortalidade são cruciais para estimar futuras mudanças demográficas e pode ser útil para diversas áreas. Na ciência atuarial, essas projeções são vitais para a precificação de seguros de vida, o gerenciamento de passivos de fundos de pensão e a avaliação do risco de longevidade (Duarte; De Mattos Neto; Firmino, 2024). Duas abordagens são comumente empregadas na projeção de taxas de mortalidade: a multivariada e a univariada. A abordagem multivariada modela simultaneamente as séries de taxas por idade, partindo do pressuposto de que existe uma estrutura de correlação entre as diferentes faixas etárias ao longo do tempo. Em contraste, a abordagem univariada considera que cada grupo etário segue uma dinâmica temporal própria e independente, que pode ser mais adequadamente capturada por modelos específicos de séries temporais ajustados individualmente.

O modelo Lee-Carter (LC) (Lee; Carter, 1992), representa um marco nos modelos estocásticos multivariados de mortalidade. Ele é o método mais utilizado para a previsão de mortalidade. Sua fundamentação teórica se baseia na suposição de que as taxas de mortalidade podem ser decompostas em um componente específico por idade e um componente variável no tempo. A estrutura log-linear do modelo é expressa pela equação:

$$\ln(m_{x,t}) = a_x + b_x k_t + \epsilon_{x,t} \quad (1)$$

em que, $\ln(\cdot)$ é o logaritmo natural, $m_{x,t}$ denota a taxa de mortalidade na idade x no ano t ; a_x representa a taxa de mortalidade média na idade x ao longo do tempo, capturando o nível de mortalidade; b_x indica a resposta específica por idade às mudanças no nível geral de mortalidade, ou seja, a sensibilidade de $\ln(m_{x,t})$ a k_t ; k_t é o índice de nível de mortalidade variável no tempo, que representa a tendência sistemática de mortalidade comum a todas as idades (efeito de período); e $\epsilon_{x,t}$ é o termo de erro. Usualmente emprega-se um passeio aleatório com *drift* para extrapolar o índice de mortalidade k_t .

Diversas variações do modelo Lee-Carter foram propostas. Por exemplo, Lee e Miller (2001) ajustaram o procedimento para melhorar o “*jump-off bias*” observado em LC. Suas principais mudanças são: (1) restringir o ajuste a partir de 1950, reconhecendo mudanças nos padrões de mortalidade antes dessa data; (2) calibrar o índice k_t de forma a reproduzir a expectativa de vida no ano inicial da amostra; (3) usar as taxas observadas do último ano disponível como pontos de partida (“*jump-off rates*”) em vez das taxas ajustadas pelo modelo (Booth *et al.*, 2006). Esses ajustes visam eliminar vieses na projeção inicial e permitir padrões evolutivos de declínio. Outra extensão importante são os modelos com efeito de coorte. Renshaw e Haberman (2006) generalizaram Lee-Carter adicionando um termo de coorte. Esse ajuste permite que padrões de mortalidade dependam também da coorte, refletindo, por exemplo, que gerações diferentes experimentam reduções distintas.

O modelo Plat (2009), por outro lado, integra características do modelo Cairns–Blake–Dowd (CBD, focado em idades mais avançadas) com o Lee–Carter para toda a faixa etária. O preditor segue forma log-linear e assume mortes Poisson com *link* log. Em essência, Plat visa um modelo “*full-range*” que aproveite o bom ajuste em idades avançadas e do LC em idades mais jovens, ajustando logisticamente o risco de morte e incluindo coorte.

Comparações de desempenho entre esses modelos mostram diferenças relevantes. Em geral, o LC original tende a subestimar a mortalidade produzindo expectativas de vida previstas menores que as reais (Villegas; Kaishev; Millossovich, 2018). Variantes como Lee–Miller, Booth–Maindonald–Smith (BMS) reduzem esse viés. Por exemplo, Booth *et al.* (2006) encontraram que os métodos BMS não apresentaram viés estatístico significativo, ao passo que o LC básico tinha erro médio negativo consistente (Villegas; Kaishev; Millossovich, 2018). Assim, modelos multicomponentes ou adaptativos geralmente melhoram a acurácia em relação ao LC clássico. Entretanto, os resultados não são consistentes quando se investigam dados de regiões distintas, como pode ser observado por Duarte (2024), o qual percebeu que o modelo LC demonstrou acurácia de previsão, no geral, superior ao modelo Plat para quinze populações diferentes.

Além dos modelos previamente citados, pode-se projetar diretamente séries temporais específicas por idade ou grupo etário de taxas de mortalidade por métodos estatísticos de previsão de séries temporais. Os métodos *AutoRegressive Integrated Moving Average* (ARIMA) modelam a dinâmica temporal por combinações lineares dos valores passados (AR), médias móveis (MA) e diferenças (I). Os métodos *Error-Trend-Seasonality* (ETS), ou exponencialmente suavizados em espaço de estado, são outra classe popular. Em vez de fórmulas de autoregressão, esses modelos atribuem pesos exponenciais aos valores passados e incorporam componentes de nível, tendência e sazonalidade e opcionalmente o amortecimento da tendência (Hyndman; Athanasopoulos, 2018). Em termos gerais, ARIMA e ETS são frequentemente comparáveis em desempenho e a escolha pode ser guiada por critérios automáticos de seleção de modelos (Hyndman; Athanasopoulos, 2018). Estudos sugerem que, para a maioria das séries temporais, ambos capturam bem a dinâmica de curto a médio prazo (Duarte; De Mattos Neto; Firmino, 2024; Feng; Shi, 2018; Shi, 2022).

Em suma, enquanto os modelos multivariados clássicos (Lee–Carter, variantes GLM, Renshaw–Haberman, Plat) exploram explicitamente a estrutura conjunto por idade-período (e possivelmente coorte), os métodos univariados (ARIMA, ETS) tratam cada série temporal isoladamente (ex.: projeção do índice de nível de mortalidade ou de uma idade específica). Os multivariados geralmente fornecem previsões mais coerentes entre as idades e permitem incorporar tendências globais e coortes, mas requerem séries históricas longas e parametrizações adequadas. Já ARIMA/ETS são mais flexíveis para dados curtos e podem ser aplicados com mínima suposição estrutural, porém não capturam diretamente a correlação entre faixas etárias. A literatura indica que abordagens que combinem rigidez de estrutura (modelos multivariados) e robustez estatística (suavização, GLM) tendem a oferecer o melhor desempenho preditivo global.

2.2 Estudos correlatos

Diversos estudos têm buscado avaliar os impactos da pandemia de Covid-19 sobre a mortalidade em diferentes países e grupos populacionais. Aburto *et al.* (2022), por exemplo, calcularam tábuas de mortalidade por sexo para 29 países, incluindo a maioria dos países europeus, além do Chile e dos EUA, para o período de 2015 a 2020. A expectativa de vida ao

nascer e aos 60 anos para 2020 foi contextualizada em relação às tendências recentes de 2015 a 2019. Utilizando técnicas de decomposição, o estudo examinou quais faixas etárias contribuíram para a redução da expectativa de vida em 2020 e em que medida essas reduções foram atribuíveis às mortes oficiais por Covid-19. Houve queda da expectativa de vida ao nascer em 27 dos 29 países analisados, principalmente devido ao aumento da mortalidade acima dos 60 anos.

Schumacher *et al.* (2024), estimaram mortalidade, expectativa de vida e população para 204 países e territórios, além de 811 regiões subnacionais, no período de 1950 a 2021. O estudo calculou o excesso de mortalidade nos anos de 2020 e 2021, comparando a mortalidade observada com a esperada na ausência da pandemia. Os resultados indicam que, embora a expectativa de vida global ao nascer tenha aumentado em 22,7 anos entre 1950 e 2021, diminuiu em 1,6 anos entre 2019 e 2021, revertendo tendências anteriores de crescimento.

Heuveline e Tzen (2021) calcularam taxas de mortalidade por Covid-19 para 186 países e territórios das Nações Unidas, além de unidade subnacionais, revelando variações por idade e sexo. Várias populações registraram reduções na expectativa de vida em 2020 e, especificamente no Brasil, a redução estimada foi de 1,72 anos.

Lima *et al.* (2021) analisaram o excesso de mortalidade em 2020 para países fortemente afetados, como Brasil, Chile, Equador, Guatemala, México e Peru. No Brasil, metade dos estados apresentou um excesso de mortalidade superior a 25%, e alguns chegaram a 50% ou mais em comparação com os 5 anos anteriores. As estimativas indicam uma perda de 2,4 anos na expectativa de vida ao nascer.

Castro *et al.* (2021), com dados de 2020 e dos primeiros quatro meses de 2021, estimaram um declínio de 1,3 anos da expectativa de vida ao nascer em 2020, nível de mortalidade não observado desde 2014. Em 2021, as mortes por Covid-19 representaram 107% do total de 2020. Supondo ausência da pandemia, a expectativa de vida teria caído 1,8 anos em 2021, resultado um pouco maior do que a redução estimada para 2020.

Camarano (2023) projetou a população brasileira por sexo e grupos quinquenais de idade, estimando perda de 4,5 anos na expectativa de vida entre 2019 e 2021 devido ao aumento de óbitos por Covid-19. O diferencial entre homens e mulheres na expectativa de vida ao nascer aumentou para 7,4 anos, refletindo a maior mortalidade masculina.

Gonzaga *et al.* (2024) projetaram taxas de mortalidade e expectativa de vida para os 5.565 municípios brasileiros entre 2010 e 2030, utilizando modelos como TOPALS, técnicas bayesianas e Lee-Carter. Embora as projeções não considerem diretamente a pandemia, os autores destacam que a Covid-19 afetou fortemente e diferentemente a expectativa de vida nos estados brasileiros. Reforçam que projeções por idade e sexo nesse contexto são essenciais para análises de excesso de mortalidade.

Fernandes *et al.* (2025) avaliaram o impacto direto e indireto da pandemia em outras causas de morte no Brasil entre 2020 e 2021. Verificaram que as taxas de mortalidade para todas as outras causas de morte foram impactadas pela Covid-19. Os efeitos diretos da Covid-19 reduziram a expectativa de vida ao nascer em 1,88 anos entre 2019 e 2020, e em 1,77 anos entre 2020 e 2021. Os efeitos indiretos aumentaram a expectativa de vida em 0,44 anos em 2020, mas tiveram pouco impacto em 2021.

No geral, os estudos revelam variações nas taxas de mortalidade entre os sexos e entre regiões. A mortalidade masculina foi sistematicamente superior à feminina (Castro *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2025; Gonzaga *et al.*, 2024; Schumacher *et al.*, 2024). Há também

evidências de diferenças persistentes na expectativa de vida ao nascer entre homens e mulheres, além de desigualdades regionais importantes dentro do Brasil.

No campo atuarial, Delbrouck e Alonso-García (2024) desenvolveram um modelo para estimar o excesso de mortalidade e seus efeitos sobre seguros de vida e anuidades na Bélgica. A presença da Covid-19 aumentou o valor presente líquido (VPL) de seguros e reduziu o de anuidades. Schnürch *et al.* (2022) avaliaram empiricamente o impacto de um salto de mortalidade sobre os parâmetros e previsões do modelo de Lee-Carter. Modelos que incorporaram a pandemia apresentaram aumento nos valores de seguros de vida (até 29%) e redução nos valores de anuidades (até 9%).

Embora os estudos apresentados tenham analisado os impactos da Covid-19 tanto globalmente quanto no Brasil, abordam majoritariamente o choque de mortalidade no período pandêmico. Ainda há incertezas sobre o comportamento da mortalidade no período posterior, em especial quanto ao retorno aos níveis pré-pandêmicos. Alguns autores sugerem que o nível de mortalidade tende a retomar gradualmente sua trajetória (Aburto *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2025), enquanto outros preveem uma desaceleração nos ganhos anuais da expectativa de vida ao nascer (Castro *et al.*, 2021).

A compreensão dos efeitos finais da pandemia sobre a saúde populacional e na expectativa de vida ainda é limitada, o que justifica a importância de estimativas oportunas (Lima *et al.*, 2021; Schumacher *et al.*, 2024). Assim, este estudo investiga especificamente o comportamento da mortalidade brasileira no período pós-pandêmico, comparando taxas observadas em 2023 com projeções contrafactuais, a fim de avaliar se os padrões de mortalidade retornaram aos níveis esperados em diferentes faixas etárias.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de investigar se as taxas específicas de mortalidade no Brasil retornaram aos níveis esperados após a pandemia de Covid-19, este estudo adota uma abordagem quantitativa baseada na comparação entre projeções contrafactuais e os valores observados no período de 2020 a 2023. Para isso, foram empregadas técnicas estatísticas clássicas de modelagem e previsão de séries temporais de mortalidade, com base em dados demográficos consolidados e ajustados por idade e sexo. A seguir, detalham-se as fontes de dados utilizadas, os procedimentos de preparação e tratamento das informações, os modelos de projeção adotados, os critérios para avaliação do desempenho preditivo das diferentes abordagens testadas e o teste estatístico utilizado para avaliar as diferenças entre as projeções e os valores reais.

3.1 Fontes de dados

Para a construção das séries de taxas específicas de mortalidade por idade e sexo, foram utilizados dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM), disponibilizados pelo OpenDataSUS (2025), abrangendo o período de 1980 a 2023. As estimativas populacionais correspondentes foram obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo combinadas a partir de duas fontes: (i) a retroprojeção demográfica de 1980 a 1999, baseada na revisão de 2016, disponível em grupos etários quinquenais (IBGE, 2016); e (ii) a projeção populacional de 2000 a 2023, revisão de 2024, disponibilizada em idades simples (IBGE, 2024).

Para garantir a compatibilidade entre as duas bases e manter a consistência temporal da série, as idades simples da projeção foram agregadas em 16 grupos etários quinquenais,

com o último grupo representando indivíduos com 80 anos ou mais, totalizando 17 faixas etárias. O mesmo procedimento foi aplicado aos dados de óbitos. Registros de óbitos com idade ou sexo ignorados ou ausentes foram excluídos da análise.

3.2 Processamento e cálculo das taxas

O pré-processamento dos dados de mortalidade foi realizado na linguagem Python, enquanto as etapas subsequentes, incluindo o agrupamento etário, junção das bases, cálculo das taxas específicas de mortalidade por idade e sexo, modelagem estatística e geração das visualizações, foram conduzidas na linguagem R. Para tanto, foram utilizados os pacotes: *demography*, *forecast*, *StMoMo*, *ggplot2* e *Metrics*.

As taxas específicas de mortalidade foram calculadas como a razão entre o número de óbitos e a população projetada, para cada ano, sexo e grupo etário. Os dados resultantes foram então particionados em dois subconjuntos:

1. Conjunto de treinamento: 1980 a 2015.
2. Conjunto de teste: 2016 a 2019.

Esse corte temporal permitiu a avaliação empírica do desempenho preditivo dos modelos por meio de uma simulação retrospectiva.

3.3 Modelos de projeção de taxas de mortalidade

Foram aplicados dois grupos de modelos estatísticos de previsão de taxas de mortalidade:

1. Modelos multivariados:
 - Modelo clássico de Lee-Carter (LC)
 - LC com projeção ARIMA para o índice k_t
 - LC com projeção ETS para o índice k_t
2. Modelos univariados por faixa etária:
 - ARIMA
 - ETS

Nos modelos multivariados, as projeções foram baseadas na estrutura log-bilinear do modelo Lee-Carter, estimado por decomposição de valores singulares (SVD). O índice de mortalidade k_t foi extrapolado por modelos de séries temporais univariadas ARIMA ou ETS. Já nos modelos univariados, séries individuais de taxas de mortalidade (por grupo etário e sexo) foram modeladas de forma independente, sem considerar correlações cruzadas. O treinamento dos modelos ARIMA e ETS foi realizado pelos algoritmos “*auto.arima*” e “*ets*” do pacote *forecast*.

Todos os modelos foram estimados separadamente para os sexos masculino e feminino. A validação dos modelos foi conduzida no período de 2016 a 2019, com horizonte de previsão de quatro anos. A métrica de avaliação adotada foi o *Mean Absolute Scaled Error* (MASE), conforme proposto por Hyndman e Koehler (2006), por permitir comparação robusta entre séries de diferentes magnitudes.

3.4 Previsões contrafactuais e comparação com observado

O modelo com menor erro MASE no período de teste foi selecionado para gerar as projeções das taxas específicas de mortalidade para os anos de 2020 a 2023, utilizando como base de treinamento toda a série histórica de 1980 a 2019. As taxas projetadas representam o cenário contrafactual: aquilo que se esperaria observar na mortalidade brasileira caso o evento pandêmico não tivesse ocorrido.

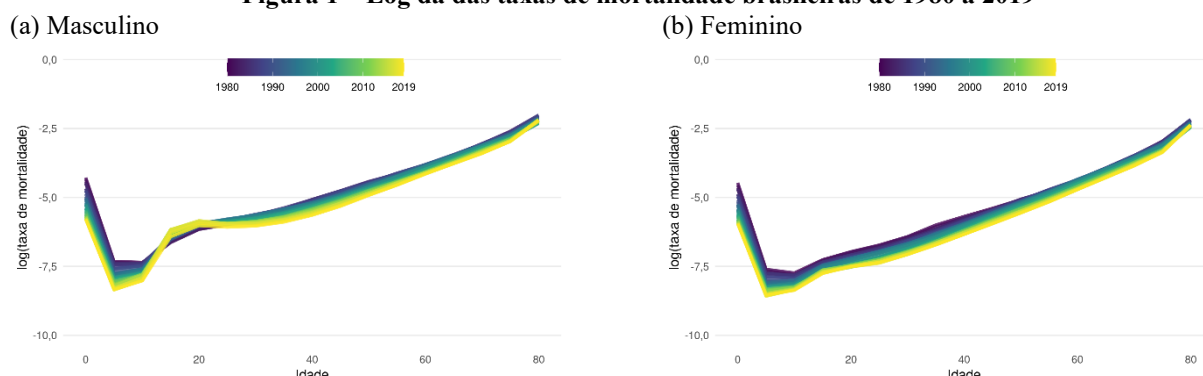
Finalmente, as taxas previstas foram comparadas com as taxas efetivamente observadas no período de 2020 a 2023. Essa comparação permite avaliar se, e em que medida, as taxas de mortalidade retornaram aos níveis esperados, sinalizando uma possível retomada do padrão pré-pandemia ou revelando a persistência de efeitos residuais na estrutura etária da mortalidade nacional. Para validar estatisticamente as diferenças, empregou-se o teste estatístico não paramétrico de Wilcoxon (1945) ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mortalidade brasileira pré e pós pandemia

As taxas específicas de mortalidade brasileiras vinham apresentando tendência de redução para ambos os sexos (Figura 1), com exceção da população masculina nas faixas etárias dos 15 aos 25 anos (Figura 1.a). Esses indícios podem ser sintetizados pelo aumento da expectativa de vida masculina ao nascer de 13,4 anos e a feminina em 14,4 anos entre 1980 e 2019 (Camarano, 2023).

Figura 1 – Log da das taxas de mortalidade brasileiras de 1980 a 2019



Fonte: Elaboração própria (2025).

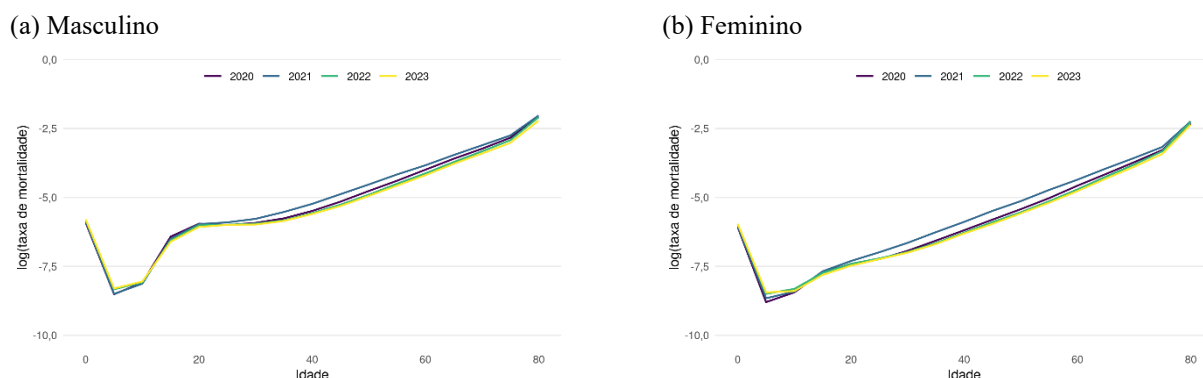
Entretanto, o choque de mortalidade imposto pela pandemia de Covid-19 alterou este padrão, ao menos temporariamente, com um excesso de mortalidade e consequente perda de expectativa de vida nos anos subsequentes ao seu início (Camarano, 2023; Castro *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021). A Tabela 1 apresenta a quantidade de óbitos no Brasil de 2016 a 2023 e a Figura 2 apresenta as curvas de mortalidade do Brasil de 2020 a 2023.

Tabela 1 – Quantidade de mortes por ano no Brasil

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Masculino	734.277	732.116	731.416	743.675	872.334	1.013.507	843.132	801.768
Feminino	572.009	577.281	582.182	603.490	681.807	816.410	698.501	661.717
Total	1.306.286	1.308.397	1.313.598	1.347.165	1.554.141	1.829.917	1.541.333	1.463.485

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do SIM/Datasus/MS (2025).

Figura 2 – Log da das taxas de mortalidade brasileiras de 2020 a 2023



Fonte: Elaboração própria (2025).

O choque de mortalidade pode ser descrito quantitativamente pelo aumento do total de óbitos de 1.347.165 em 2019 para 1.554.141 em 2020 e, finalmente, para 1.829.917 em 2021. Isto é, um acréscimo de mais de 200 mil óbitos no primeiro ano da pandemia e de mais de 275 mil no segundo ano (Tabela 1). Esse aumento permanece evidente nas taxas específicas de mortalidade, com destaque para o ano de 2021, cujas taxas nas faixas etárias acima de 25 anos se distanciam das demais (Figura 2).

Além disso, segundo a Tabela 1 e a Figura 2, observa-se que tanto o número de óbitos quanto às taxas específicas de mortalidade dos anos de 2022 e 2023 já se encontram abaixo dos níveis registrados em 2020, sinalizando uma tendência de retorno à normalidade após o choque inicial da pandemia. Por outro lado, destaca-se a mortalidade em faixas etárias abaixo de 15 anos, que apresentaram taxas mais elevadas nesse mesmo período, em relação aos anos de maior mortalidade da pandemia, em consonância com o observado por Orellana, Marreiro e Horta (2022) e Schumacher *et al.* (2024).

4.2 Seleção do modelo de projeção das taxas de mortalidade

Após o processamento dos dados e o cálculo das taxas específicas de mortalidade para o Brasil no período de 1980 a 2023, os dados foram divididos em conjunto de treino (1980 a 2015) e teste (2016 a 2019), com o objetivo de selecionar o modelo final utilizado na previsão das taxas entre 2020 e 2023. Foram testados cinco modelos para ambos os sexos, contemplando 16 faixas etárias em grupos quinquenais e a última faixa composta pelas idades de 80 anos ou mais. Os modelos avaliados foram: Lee-Carter, Lee-Carter com ARIMA, Lee-Carter com ETS (multivariados), ARIMA e ETS (univariados). O modelo final foi selecionado com base no menor valor do MASE, obtido por meio da comparação entre as taxas reais e as previstas para o conjunto de teste.

Tabela 2 – Resultados do MASE

Modelo	Masculino	Feminino
Lee-Carter	0,089741	0,065640
Lee-Carter com ARIMA	0,089404	0,065640
Lee-Carter com ETS	0,089449	0,068567
ARIMA univariado	0,060812	0,038095
ETS univariado	0,061419	0,039749

Fonte: Elaboração própria (2025).

Nota: Melhores resultados em negrito.

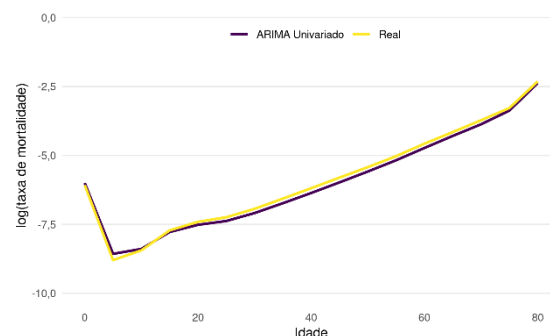
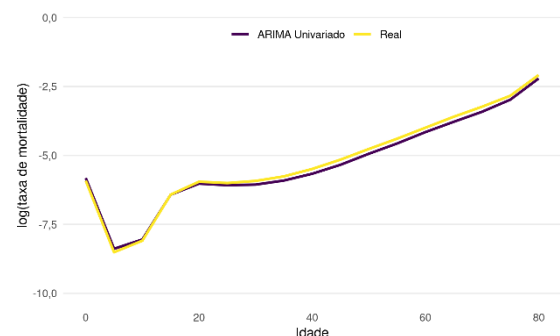
A Tabela 2 apresenta os valores da métrica MASE para os diferentes modelos e sexos. Para ambos os sexos, o modelo com menor MASE foi o ARIMA univariado, seguido pelo ETS univariado, o que sugere que os modelos univariados apresentam melhor desempenho na previsão das taxas de mortalidade para os dados com retroprojeção. Com base nesse resultado, são apresentados a seguir os valores previstos pelo ARIMA univariado e a comparação com os dados observados, considerando um cenário contrafactual sem a pandemia, no qual a mortalidade teria seguido os padrões prévios a 2020.

4.3 Taxas de mortalidade previstas pelo modelo ARIMA univariado

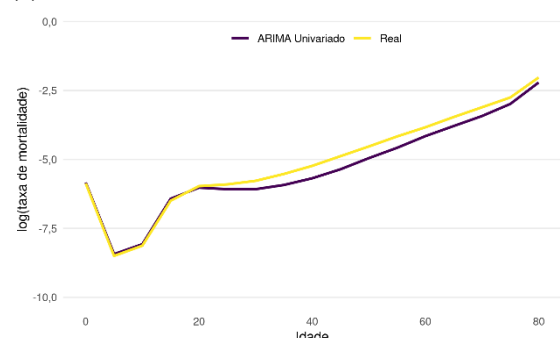
A Figura 3 apresenta o logaritmo das taxas específicas de mortalidade por faixa etária, observadas e previstas para o Brasil, de 2020 a 2023. Os resultados estão de acordo com o padrão observado por Schumacher *et al.* (2024): aumento da mortalidade para a população adulta e redução para a população infantil. De modo geral, destaca-se a distância entre as curvas nos anos de 2020 e 2021, sobretudo a partir da faixa dos 25 anos, sendo as curvas masculinas mais acentuadas em comparação com as femininas, que apresentam comportamento mais suavizado. Para ambos os sexos, a mortalidade infantil real ficou acima da prevista pelo modelo nos anos mais críticos da pandemia (2020 e 2021), enquanto nos anos de 2022 e 2023, o inverso acontece.

As maiores diferenças ocorrem, de fato, em 2021 e nas faixas etárias acima de 25 anos. Observa-se, também, uma aproximação gradual entre as taxas previstas e observadas nos anos de 2022 e 2023, indicando um possível retorno aos padrões pré-pandêmicos. No entanto, para algumas faixas etárias, ainda persistem diferenças relevantes, sugerindo alterações nos padrões de mortalidade que podem ter resultado dos efeitos diretos e indiretos da pandemia sobre outras causas de morte (Castro *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2025; Schumacher *et al.*, 2024).

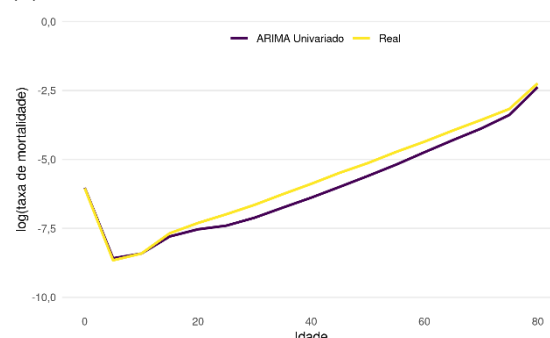
Figura 3 – Comparação entre o log das taxas específicas de mortalidade reais e previstas
 (a) Masculino – 2020 (b) Feminino – 2020



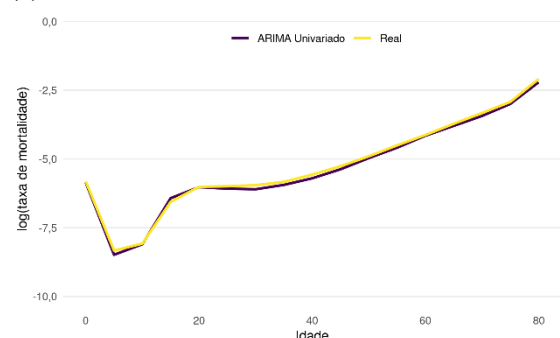
(c) Masculino – 2021



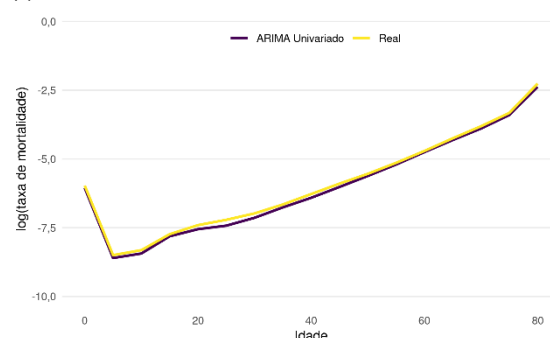
(d) Feminino – 2021



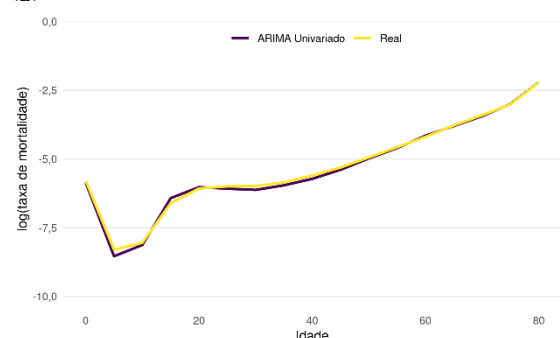
(e) Masculino – 2022



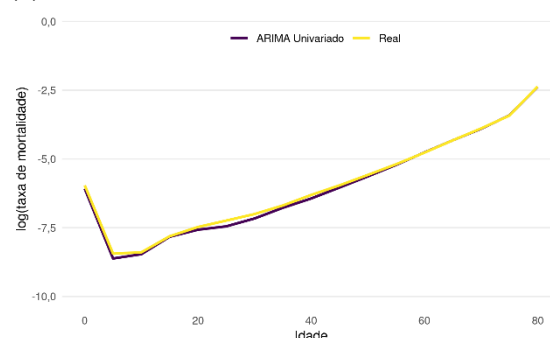
(f) Feminino – 2022



(g) Masculino – 2023



(h) Feminino – 2023



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Tabela 3 apresenta as taxas específicas de mortalidade reais, previstas e a diferença percentual entre elas, para o sexo masculino, destacando as faixas etárias em que foram visualizadas as maiores diferenças.

Tabela 3 – Comparação entre as taxas específicas de mortalidade reais e previstas masculinas

Faixa etária	2020			2021		
	Real	Previsto	Diferença (%)	Real	Previsto	Diferença (%)
25-29	0,002474	0,002285	7,65	0,002723	0,002285	16,09
30-34	0,002672	0,002337	12,52	0,003099	0,002288	26,18
35-39	0,003150	0,002709	13,98	0,003974	0,002666	32,91
40-44	0,004123	0,003463	16,00	0,005332	0,003398	36,26
45-49	0,005780	0,004796	17,02	0,007580	0,004711	37,85
50-54	0,008509	0,007149	15,98	0,010768	0,007052	34,51
55-59	0,012349	0,010383	15,92	0,015500	0,010268	33,76
60-64	0,018403	0,015687	14,76	0,021611	0,015687	27,41
65-69	0,027381	0,022790	16,77	0,031348	0,022623	27,83
70-74	0,039388	0,032779	16,78	0,044639	0,032494	27,21
75-79	0,058658	0,050874	13,27	0,063690	0,050386	20,89
80+	0,124502	0,109675	11,91	0,131311	0,109675	16,48
Faixa etária	2022			2023		
	Real	Previsto	Diferença (%)	Real	Previsto	Diferença (%)
25-29	0,002496	0,002285	8,49	0,002489	0,002285	8,22
30-34	0,002597	0,002238	13,79	0,002517	0,002189	13,04
35-39	0,002927	0,002623	10,39	0,002869	0,002580	10,08
40-44	0,003811	0,003333	12,54	0,003693	0,003268	11,51
45-49	0,005176	0,004627	10,61	0,004932	0,004542	7,91
50-54	0,007428	0,006955	6,37	0,007107	0,006858	3,49
55-59	0,011059	0,010152	8,20	0,010340	0,010036	2,94
60-64	0,016118	0,015687	2,67	0,015075	0,015687	-4,06
65-69	0,024273	0,022456	7,49	0,022779	0,022289	2,15
70-74	0,035820	0,032208	10,08	0,033075	0,031923	3,48
75-79	0,053694	0,049899	7,07	0,048702	0,049411	-1,46
80+	0,123255	0,109675	11,02	0,108966	0,109675	-0,65

Fonte: Elaboração própria (2025).

Nota: Em negrito, faixas etárias com menores diferenças entre real e previsto.

As diferenças anuais entre taxas reais e previstas revelam um comportamento com pico em 2021, ano marcado pelo maior impacto da pandemia. Após um patamar intermediário em 2020, o aumento expressivo em 2021 foi seguido por uma queda gradual nos dois anos seguintes, em 2022 com níveis menores do que em 2020, atingindo seu nível mais baixo em 2023.

A diferença média entre taxas reais e previstas para o sexo masculino foi de 14% em 2020, 28% em 2021, 9% em 2022 e 5% em 2023, indicando, novamente, a tendência de retorno à mortalidade prevista, conforme já evidenciado graficamente na Figura 3 (Masculino). Apesar da queda geral, nota-se que essa retomada ocorre majoritariamente nas faixas etárias mais avançadas. Para indivíduos com menos de 50 anos, a diferença observada em 2022 praticamente se mantém em 2023, sugerindo que os níveis ainda não retornaram completamente à normalidade ou que houve mudanças no padrão de mortalidade dessas faixas.

A Tabela 4 apresenta as taxas específicas de mortalidade reais, previstas e a diferença percentual entre elas, para o sexo feminino e nas faixas etárias em que foram visualizadas as maiores diferenças.

Tabela 4 – Comparação entre as taxas específicas de mortalidade reais e previstas femininas

Faixa etária	2020			2021		
	Real	Previsto	Diferença (%)	Real	Previsto	Diferença (%)
25-29	0,000715	0,000624	12,75	0,000922	0,000610	33,84
30-34	0,000972	0,000833	14,27	0,001297	0,000813	37,30
35-39	0,001406	0,001190	15,34	0,001911	0,001174	38,58
40-44	0,002050	0,001724	15,88	0,002777	0,001683	39,39
45-49	0,003011	0,002533	15,88	0,004134	0,002483	39,94
50-54	0,004399	0,003754	14,67	0,005894	0,003692	37,35
55-59	0,006559	0,005649	13,88	0,008838	0,005575	36,92
60-64	0,010305	0,008818	14,43	0,012815	0,008728	31,89
65-69	0,015695	0,013653	13,01	0,019172	0,013524	29,46
70-74	0,024125	0,020815	13,72	0,028124	0,020594	26,77
75-79	0,037515	0,034201	8,83	0,042012	0,033764	19,63
80+	0,098347	0,092466	5,98	0,106134	0,092466	12,88
Faixa etária	2022			2023		
	Real	Previsto	Diferença (%)	Real	Previsto	Diferença (%)
25-29	0,000737	0,000595	19,21	0,071652	0,058101	18,91
30-34	0,000930	0,000793	14,74	0,090847	0,077335	14,87
35-39	0,001287	0,001158	10,08	0,124124	0,114128	8,05
40-44	0,001882	0,001642	12,78	0,182034	0,160006	12,10
45-49	0,002748	0,002433	11,46	0,257887	0,238244	7,62
50-54	0,003926	0,003631	7,52	0,377013	0,356913	5,33
55-59	0,005852	0,005501	6,01	0,555872	0,542656	2,38
60-64	0,009010	0,008639	4,12	0,847330	0,854883	-0,89
65-69	0,014275	0,013395	6,16	1,326106	1,326659	-0,04
70-74	0,022151	0,020372	8,03	2,042884	2,015139	1,36
75-79	0,035976	0,033327	7,36	3,257770	3,288931	-0,96
80+	0,104304	0,092466	11,35	9,393026	9,246633	1,56

Fonte: Elaboração própria (2025).

Nota: Em negrito, faixas etárias com menores diferenças entre real e previsto.

O comportamento das diferenças entre taxas para o sexo feminino segue a mesma lógica observada entre os homens: em 2020 as diferenças foram intermediárias, em 2021 atingiram seu auge e, nos anos seguintes, decresceram. A diferença média anual foi de 13% em 2020, 32% em 2021, 10% em 2022 e 6% em 2023.

Da mesma forma, observa-se o retorno da mortalidade a níveis próximos aos esperados nas faixas etárias mais envelhecidas, enquanto para as mais jovens, permanece relativamente alta. Isso pode indicar um retorno mais lento ou, ainda, uma mudança estrutural no padrão de mortalidade dessas faixas etárias.

Tanto os resultados numéricos quanto os gráficos indicam que, em 2023, as taxas de mortalidade se aproximaram do comportamento previsto em um cenário sem pandemia, pelo menos nos grupos etários mais velhos. Para avaliar estatisticamente se os níveis de mortalidade retornaram ao padrão esperado na ausência da pandemia, foi realizado o teste de Wilcoxon para amostras pareadas, considerando as diferenças entre taxas reais e previstas a partir da faixa etária de 25 anos, para ambos os sexos. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste de Wilcoxon - p-valores por sexo e ano

Ano	Masculino	Feminino	Resultado
2020	0,000488	0,000488	Tem diferença
2021	0,000488	0,000488	Tem diferença
2022	0,000488	0,000488	Tem diferença
2023	0,518555	0,052246	Não tem diferença

Fonte: Elaboração própria (2025).

Como os p-valores para os anos de 2020 a 2022 são inferiores a 0,05, rejeita-se a hipótese nula nesses anos, indicando que as taxas reais de mortalidade diferem significativamente das taxas previstas para um cenário sem pandemia. Já em 2023, os p-valores são superiores a 0,05 para ambos os sexos o que leva à não rejeição da hipótese nula, sugerindo ausência de diferença estatisticamente significativa entre os valores reais e esperados.

Os achados apontam para um processo de retorno gradual aos níveis de mortalidade esperados no cenário sem pandemia, especialmente em 2023, colocando a pandemia de Covid-19 como um choque de mortalidade de curto prazo (Fernandes *et al.*, 2025; Lima *et al.*, 2021).

No entanto, Aburto *et al.* (2022) afirma que há evidências que sugerem efeitos mais duradouros na saúde da população. Um desses efeitos é o retorno heterogêneo entre as faixas etárias: enquanto nas idades mais avançadas o comportamento observado já converge com o padrão previsto, nas faixas etárias mais jovens persistem diferenças elevadas, indicando possíveis mudanças estruturais nos padrões de mortalidade pós-pandemia ou, pelo menos, uma convergência mais lenta às taxas previstas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos imediatos da pandemia de Covid-19 no Brasil são bem conhecidos, com estudos sobre seus reflexos na demografia, na saúde, na economia e na atuária. Porém, como os impactos de longo prazo ainda estão em curso, seus efeitos continuam incertos e restam as hipóteses levantadas por pesquisas anteriores, que tentaram prever as consequências deixadas pela pandemia. Essa lacuna motivou a realização deste estudo para analisar a persistência ou dissipação do choque de mortalidade causado pela Covid-19.

Assim, este estudo objetivou investigar se as taxas específicas de mortalidade da população brasileira retornaram aos níveis esperados para o ano de 2023. Para tanto, foram comparadas as taxas específicas de mortalidade por faixas etárias quinquenais e sexo observadas em 2023 com aquelas previstas pelo modelo ARIMA univariado, cuja projeção se baseou em dados de mortalidade do SIM e nas projeções populacionais do IBGE referentes ao período de 1980 a 2019.

Os resultados revelam que as maiores diferenças entre as taxas reais e as previstas ocorrem em 2021 e nas faixas etárias acima de 25 anos. Observa-se, também, uma aproximação gradual entre as taxas previstas e observadas nos anos de 2022 e 2023, indicando um possível retorno aos padrões pré-pandêmicos. A diferença média entre as taxas reais e previstas para o sexo masculino foi de 14% em 2020, 28% em 2021, 9% em 2022 e 5% em 2023; para o sexo feminino, as diferenças foram de 13%, 32%, 10% e 6%, respectivamente, indicando convergência dos resultados para ambos os sexos.

Para atestar se os níveis de mortalidade retornaram ao padrão esperado na ausência da pandemia, foi realizado o teste de Wilcoxon, considerando as diferenças entre taxas reais e

previstas a partir da faixa etária de 25 anos. Para ambos os sexos, as taxas reais de mortalidade diferem significativamente das taxas previstas em um cenário sem pandemia (2020 a 2022). Já em 2023, não há diferença estatisticamente significativa entre os valores reais e esperados. Portanto, as análises gráficas e estatísticas das diferenças indicam que taxas específicas de mortalidade retornaram aos níveis esperados no cenário contrafactual (sem a pandemia de Covid-19).

Nesse sentido, observou-se o retorno da mortalidade a níveis próximos aos esperados nas faixas etárias mais envelhecidas, enquanto para as mais jovens, permanece relativamente alta. Isso indica que, apesar do retorno à normalidade quando se analisa a curva de mortalidade como um todo, ainda persistem diferenças relevantes entre algumas faixas etárias, de modo que os níveis de mortalidade ainda não retornaram completamente à normalidade ou que houve mudanças no padrão de mortalidade dessas faixas.

Este estudo apresenta algumas limitações. A primeira é temporal: a pandemia teve seu fim decretado em 2022 e, até a data de envio deste trabalho, os dados oficiais de mortalidade do SIM estão disponíveis apenas até o ano de 2023, sendo que há apenas a prévia dos dados de 2024, portanto, a análise se restringiu a avaliar o retorno das taxas de mortalidade apenas um ano após a pandemia. Além disso, os resultados são baseados em dados a nível nacional, desconsiderando as variações regionais no Brasil, onde os impactos da pandemia foram desiguais.

Diante disso, estudos futuros ampliarão a análise para avaliar as particularidades regionais do Brasil, bem como investigar outros países. Além disso, será considerado um período mais extenso após a pandemia, o que permitirá verificar se houve retorno aos níveis de mortalidade pré-pandêmicos em todas as faixas etárias. Também serão investigadas as causas da heterogeneidade observada no retorno da mortalidade aos níveis normais entre as diferentes faixas etárias.

REFERÊNCIAS

- ABURTO, J. M. *et al.* Quantifying impacts of the COVID-19 pandemic through life-expectancy losses: a population-level study of 29 countries. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 63–74, 2022.
- ARANOVICH, T. de C.; LEANDRO, T. Covid-19 e a Nova Concentração do Mercado de Planos de Saúde. **Revista do IBRAC**, [s. l.], n. 1, p. 171–194, 2021.
- BOOTH, H. *et al.* Lee-Carter mortality forecasting: a multi-country comparison of variants and extensions. **Demographic Research**, [s. l.], v. 15, p. 289–310, 2006.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. OPENDATASUS. **Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM)**. 2025. Disponível em: <https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/sim>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CAMARANO, A. A. TD 2873 - A Dinâmica demográfica e a pandemia : como andar a população brasileira?. **Texto para Discussão**, [s. l.], p. 1–28, 2023.
- CASTRO, M. C. *et al.* Reduction in life expectancy in Brazil after COVID-19. **Nature Medicine**, [s. l.], v. 27, n. 9, p. 1629–1635, 2021.

DELBROUCK, C.; ALONSO-GARCÍA, J. COVID-19 and Excess Mortality: An Actuarial Study. **Risks**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 61, 2024.

DUARTE, F. C. de L. **Um sistema híbrido baseado em combinação de preditores para previsão de vários passos à frente de séries temporais de taxas de mortalidade**. 2024. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/59159>. Acesso em: 23 jul. 2025.

DUARTE, F. C. de L.; DE MATTOS NETO, P. S. G.; FIRMINO, P. R. A. A hybrid recursive direct system for multi-step mortality rate forecasting. **The Journal of Supercomputing**, [s. l.], v. 80, n. 13, p. 18430–18463, 2024.

FENG, L.; SHI, Y. Forecasting mortality rates: multivariate or univariate models?. **Journal of Population Research**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 289–318, 2018.

FERNANDES, F. *et al.* Mortality by Cause of Death in Brazil: A Research Note on the Effects of the COVID-19 Pandemic and Contribution to Changes in Life Expectancy at Birth. **Demography**, [s. l.], v. 62, n. 2, p. 381–404, 2025.

GONZAGA, M. R. *et al.* Estimation and probabilistic projection of age- and sex-specific mortality rates across Brazilian municipalities between 2010 and 2030. **Population Health Metrics**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 9, 2024.

HEUVELINE, P.; TZEN, M. Beyond deaths per capita: comparative COVID-19 mortality indicators. **BMJ Open**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. e042934, 2021.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice**. 2nd editioned. Melbourne: OTexts, 2018.

HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 679–688, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação: 2000-2070**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?edicao=41053>. Acesso em: 24 jul. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Retroprojeção da População do Brasil por sexo e grupo de idade: 2000-1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9114-retroprojecao-da-populacao.html?edicao=9115>. Acesso em: 24 jul. 2025.

IBN-MOHAMMED, T. *et al.* A critical analysis of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 164, p. 105169, 2021.

LEE, R. D.; CARTER, L. R. Modeling and Forecasting U.S. Mortality. **Journal of the American Statistical Association**, [s. l.], v. 87, n. 419, p. 659–671, 1992.



- LEE, R.; MILLER, T. Evaluating the performance of the lee-carter method for forecasting mortality. **Demography**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 537–549, 2001.
- LIMA, E. E. C. *et al.* Investigating regional excess mortality during 2020 COVID-19 pandemic in selected Latin American countries. **Genus**, [s. l.], v. 77, n. 1, p. 30, 2021.
- ORELLANA, J. D. Y.; MARRERO, L.; HORTA, B. L. Mortalidade por COVID-19 no Brasil em distintos grupos etários: diferenciais entre taxas extremas de 2021 e 2022. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 38, n. 7, p. e00041922, 2022.
- PLAT, R. On stochastic mortality modeling. **Insurance: Mathematics and Economics**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 393–404, 2009.
- RENSHAW, A. E.; HABERMAN, S. A cohort-based extension to the Lee–Carter model for mortality reduction factors. **Insurance: Mathematics and Economics**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 556–570, 2006.
- SCHNÜRCH, S. *et al.* The impact of mortality shocks on modelling and insurance valuation as exemplified by COVID-19. **Annals of Actuarial Science**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 498–526, 2022.
- SCHUMACHER, A. E. *et al.* Global age-sex-specific mortality, life expectancy, and population estimates in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1950–2021, and the impact of the COVID-19 pandemic: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. **The Lancet**, [s. l.], v. 403, n. 10440, p. 1989–2056, 2024.
- SHI, Y. Forecasting mortality rates with the penalized exponential smoothing state space model. **Journal of the Operational Research Society**, [s. l.], v. 73, n. 5, p. 955–968, 2022.
- SILVA, D. L. S. *et al.* Avaliação da mortalidade por COVID-19 no Brasil/ COVID-19 mortality assessment in Brazil. **Brazilian Journal of Health Review**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 14756–14766, 2021.
- SILVA, R. D. L.; DUARTE, A. S.; TERRA, L. P. COVID-19: impactos na mortalidade e expectativa de vida no Brasil em 2020 e 2021. **Sigmae**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 22–35, 2021.
- SILVA, G. A. E.; JARDIM, B. C.; LOTUFO, P. A. Mortalidade por COVID-19 padronizada por idade nas capitais das diferentes regiões do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. e00039221, 2021.
- SILVA, V. C. O. G. da; SANTOS JÚNIOR, L. C. Mortalidade por covid-19: impacto sobre as pensões por morte em um RPPS. In: 10º CONGRESSO DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ATUARIAIS DA PARAÍBA, 2024, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: CONCICAT, 2024.
- SIQUEIRA, C. A. D. S. *et al.* COVID-19 no Brasil: tendências, desafios e perspectivas após 18 meses de pandemia. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [s. l.], v. 46, p. 1, 2022.



TEIXEIRA, I. T. *et al.* Impactos preliminares da COVID-19 nas operadoras de grande porte da saúde suplementar brasileira: Preliminary Impacts of COVID-19 on Large Brazilian Supplementary Health Insurance Companies. **Brazilian Journal of Business**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 2082–2092, 2022.

VILLEGAS, A. M.; KAISHEV, V. K.; MILLOSOVICH, P. **StMoMo** : An *R* Package for Stochastic Mortality Modeling. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 84, n. 3, 2018. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v84/i03/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, [s. l.], v. 1, n. 6, p. 80, 1945.