



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA
CURSO DE ESTATÍSTICA

Eduardo Pereira Lima

Rodolfo Pirolo Gatzke

**Efeito da vacinação sobre a ocupação de leitos por casos de
Covid-19 no município de Curitiba/PR**

**CURITIBA
2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA
CURSO DE ESTATÍSTICA

Eduardo Pereira Lima

Rodolfo Pirolo Gatzke

Efeito da vacinação sobre a ocupação de leitos por casos de Covid-19 no município de Curitiba/PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Laboratório B do Curso de Estatística do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

Orientadora: Profa. Dra. Nivea da Silva Matuda
Machado

**CURITIBA
2023**

AGRADECIMENTOS

A primeiramente à Deus por nossa vida, família e amigos.

À instituição de ensino Universidade Federal do Paraná, essencial no nosso processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

À Prof^a. Nivea Matuda pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos e ao Prof. Fernando Lucambio pelo apoio e incentivo na elaboração deste trabalho.

Aos amigos/familiares de Eduardo e Rodolfo, por todo o apoio e pela ajuda e que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a nossa ausência enquanto nos empenhávamos na realização deste trabalho.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”.

(Carl Sagan)

RESUMO

Desde o início do atual surto de coronavírus, houve uma grande preocupação diante de uma doença que se espalhou rapidamente em várias regiões do mundo, sem planos estratégicos efetivos, muitos indivíduos sofreram graves consequências. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da utilização de vacinas contra o vírus da COVID-19 na população de Curitiba sobre o número de internamentos clínicos, utilizando uma abordagem de séries temporais com modelos dinâmicos. Como ferramenta base foi utilizado o *software* R, e o principal pacote utilizado foi o *dynlm*. Os dados analisados neste trabalho, estão disponíveis na web, em sites de instituições governamentais. Foi aplicada uma abordagem em análise de séries temporais com modelos dinâmicos que não é comum fazer parte do conteúdo dos cursos de graduação em Estatística. Conforme o modelo ajustado, verifica-se que o percentual populacional com esquema vacinal completo tem um efeito significativo, conjuntamente com outras covariáveis que ajudam a explicar o comportamento do número de internações ao longo das semanas.

Palavras-chave: COVID-19. SARS-CoV-2. Curitiba. Estatística descritiva. Modelos dinâmicos. Resíduos.

Sumário

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Material	11
2.1.1 Conjunto de Dados	11
NOTA: faixa em negrito é a faixa de referência.....	13
2.1.2 Recursos Computacionais.....	13
2.2 Métodos	13
2.2.1 Séries Temporais	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 Análise descritiva dos dados.....	16
3.2 Ajustes de modelo.....	19
3.2.1 Análise de resíduos	20
3.2.2 Interpretação do Modelo	23
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma infecção respiratória aguda causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, potencialmente grave, de elevada transmissibilidade e de distribuição global. O SARS-CoV-2 é um betacoronavírus descoberto em amostras de lavado broncoalveolar obtidas de pacientes com pneumonia de causa desconhecida na cidade de Wuhan, província de Hubei, China, em dezembro de 2019 (BRASIL, 2021).

Em 11 de março de 2020, a COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia. O termo “pandemia” se refere à distribuição geográfica de uma doença e não à sua gravidade.

Segundo a Prefeitura Municipal de Curitiba, a pandemia na Região de Curitiba foi se alastrando aos poucos, isto é, no mês de março de 2020 havia cerca de 90 casos diagnosticados; a cidade atingiu o patamar de quase 500 casos nos dois meses seguintes. No entanto, em agosto do mesmo ano, a situação era bem diferente e a pandemia estava presente em toda a Curitiba, com mais de 20 mil novos casos (PDUR, 2022).

A campanha de vacinação contra a COVID-19 em Curitiba começou no dia 20 de janeiro de 2021, com o envio de 48 mil doses para a capital, em 19 de janeiro. Em agosto de 2021, Curitiba bateu a marca de um milhão de imunizados com a vacina contra o novo coronavírus. O número contempla as 969.985 pessoas que receberam a primeira dose e outras 36.851 vacinadas com dose única. Isso quer dizer que 69,2% da população já estava imunizada com, pelo menos, uma dose. Somadas às segundas doses, a Secretaria Municipal da Saúde (SMS) aplicou 1.348.077 unidades de vacinas anticovid nesse período (FOGGIATO, 2021).

Para analisar os efeitos das vacinas anticovid em uma região, é necessário confrontar com as ações públicas que foram expressas por meio de atos normativos na área das políticas de saúde contra COVID-19.

A Prefeitura de Curitiba, no início da pandemia da COVID-19, sinalizou que a cidade deveria evitar hospitais de campanha, ao contrário de como fizeram São Paulo e Rio de Janeiro, porque acreditava que a estrutura hospitalar da época poderia ser adaptada para atender à então projeção de infectados de 632 infectados, até maio de 2020 (MARIMON, 2020). A prefeitura planejava reativar alguns hospitais em desuso e adaptar Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) de outras especialidades. Desde o início da pandemia, a prefeitura optou por não instalar hospital de campanha, mesmo em um momento da crise

sanitária durante a primeira onda (entre os meses de abril e maio do ano de 2020), em que o sistema de saúde do município colapsou pelo avanço acelerado do coronavírus. No Plano Municipal de Contingência da Pandemia de 2020, chegou a constar, um projeto para transformar o pavilhão de exposições do Parque Barigui em um hospital de campanha, caso fosse necessário¹. De acordo a essa decisão, a prefeitura declinou em março de 2020 da oferta da diretoria do Athletico Paranaense para instalação de um hospital de campanha na Arena da Baixada, no bairro Água Verde. A Secretaria Municipal de Saúde (SMS) explicou que preferiria adotar estruturas mais adequadas para internamentos a tendas montadas improvisadamente. O principal motivo para essa escolha é que em tendas seria difícil instalar infraestrutura de atendimento hospitalar, como tubulação de oxigênio e aparelhos de raio-X e faltariam condições para se fazer exames laboratoriais (SANTOS, 2022; VICENTE, 2021).

Em março de 2021, a Prefeitura de Curitiba alterou o sistema de atendimento em saúde pela rede pública na cidade, devido à alta demanda de pacientes e à consequente falta de vagas causada pela pandemia da COVID-19. Com isso, 42 Unidades Básicas de Saúde (UBS) foram transformadas em UPAs para atender casos moderados de COVID-19. E as UPAs se tornaram locais de internamento para pacientes graves com coronavírus ou com outras doenças.

É inegável que a pandemia gerou forte impacto na economia, saúde e lazer. Com relação a este último, segundo Grimm et al. (2022), a pandemia da COVID-19 refletiu diretamente no setor do turismo, devido ao distanciamento social. Em abril de 2020, o Supremo Tribunal Eleitoral (STF) favoreceu a autonomia de estados e municípios para gerenciar decisões sobre o enfrentamento da pandemia e sobre a abertura dos comércios (PDUR, 2020). Pelo cruzamento entre as informações dos boletins epidemiológicos e as legislações municipais e estaduais com medidas de enfrentamento da COVID-19 pode-se perceber que as medidas de distanciamento mais restritivas foram as mais bem-sucedidas no enfrentamento da pandemia. Até os meses de abril e maio do ano de 2020, em Curitiba, o ritmo de transmissão manteve-se sob relativo controle, ocasionado principalmente pela obrigatoriedade do uso de máscara em público. Em março de 2020 foi decretado o sistema de *lockdown* em Curitiba. O termo *lockdown* se originou da língua inglesa, que em uma tradução livre se refere ao confinamento ou fechamento total. Esta é uma medida que visa o bloqueio total e fechamento de vias e proíbe o deslocamento de viagens não essenciais à

¹ O local acabou destinado à central de vacinação da COVID-19 desde janeiro de 2021.

saúde e a vida (G1, 2020). Ao analisar as informações sobre o lockdown é notável que de forma geral, os decretos iniciais, mais restritivos, não resistiram aos feriados nacionais e municipais.

Entre maio e julho de 2021, Curitiba sofreu com a segunda onda da COVID-19, quando a situação dos hospitais corroborou a cautela. Em maio de 2021, à espera de pacientes com coronavírus por internação, no sistema público de saúde, explodiu em todo o Estado do Paraná. O crescimento de quase 150% no déficit de vagas estaduais, acabou exigindo ainda mais atenção porque, entre a primeira e segunda ondas, houve um breve recuo do número de casos confirmados de COVID-19. E a demanda por leitos para a doença se estabilizou em um patamar maior do que o observado no intervalo entre as duas ondas (MAROS, 2021). Em Curitiba, durante o ápice da segunda onda, as Unidades de Tratamentos Intensivo (UTIs) apresentavam 93% de sua ocupação total e os leitos clínicos 76% de sua ocupação, em média (PARANÁ, 2021).

Conforme levantamento com base em dados divulgados pela Secretaria da Saúde do Estado do Paraná (SESA-Paraná), sobre o número de casos registrados durante o ano de 2021, constatou-se que na capital foram 1.366 casos ativos da doença até dia 30 de dezembro, sendo que 719 foram no dia 23 de dezembro, o que resultou no aumento de 71% de casos em um único dia (G1, 2021).

As ações governamentais que tinham a finalidade de mitigar os efeitos da pandemia em seus respectivos estados e municípios, ocorreram em meio a pressões contrárias e favoráveis. Há conhecimento de que foram desobedecidas em alguns lugares, sob orientação de algumas associações de municípios da região Noroeste e Oeste do Paraná. A Associação dos Municípios da Região Metropolitana de Curitiba (ASSOMECC), em acordo com a SESA-Paraná, a princípio aderiu às determinações legais. No entanto, a ASSOMECC organizou o Fórum Metropolitano de Combate à COVID-19 em 15 de julho de 2020 que levou a flexibilização das restrições com o aumento, dentro do possível, dos horários e dias de funcionamento do comércio e serviços (CURITIBA, 2020).

Em junho de 2020 foi instituído em Curitiba o monitoramento da COVID-19 através do sistema de bandeiras, que permite uma fácil interpretação da situação e uma rápida resposta para o combate da doença. O sistema avalia nove indicadores divididos em dois grupos: o nível de propagação da doença e a capacidade de atendimento da rede hospitalar. A partir destes indicadores, a situação do município é classificada em um de três possíveis níveis: bandeira amarela, bandeira laranja e bandeira vermelha. A bandeira

amarela é de nível menos restritivo, servindo de alerta para a população e a bandeira vermelha é a mais restritiva com alto risco de contaminação de COVID-19.

A bandeira vermelha só foi utilizada duas vezes em Curitiba, durante o ano de 2021: em 12 de março a 5 de abril e em 29 de maio a 9 de junho, períodos de crescimento exponencial de casos e óbitos. Segundo informações da UOL (2021), enquanto a curva da disseminação do novo coronavírus subia, flexibilizava-se as atividades econômicas. Uma outra consideração importante diz respeito ao Sistema Único de Saúde (SUS) que, de acordo com informações de G1 (2020), mostrou-se sem estrutura para o tratamento dos doentes. Para Aquino et al. (2020) não houve um esforço para viabilizar o distanciamento social por meio de formulação de medidas alternativas e/ou complementares, mas sim para garantir o funcionamento do comércio em meio à pandemia.

A mídia em geral, tanto em Curitiba como em outras cidades, destacava a notoriedade da doença. Um dos assuntos era sobre o avanço da doença que coincidia, com o momento posterior à reabertura de shoppings e centros comerciais, e por consequência, o aumento do movimento nas cidades. No portal CRMPR, a reportagem: “Sob bandeira vermelha, Curitiba mantém restrições contra a COVID-19 até 28/03/2021”, salientava que por não existir, um tratamento definitivo para a COVID-19, a prevenção era o método mais eficaz. Sob esta condição, estariam vetadas atividades nos parques da cidade, bem como as aulas presenciais na rede privada de ensino, exceto cursos técnicos e profissionalizantes, universitários e de pós-graduação da área da saúde. O transporte permaneceria funcionando com lotação máxima de 50%. E o consumo de bebidas alcoólicas estaria proibido em espaços de uso público. Citam-se duas outras reportagens, mais alarmistas, publicadas nos portais Brasil de Fato e Plural:

- “o sistema de saúde não suportará nova onda” e o fato que desencadeou as mortes foi a falta de infraestrutura e o despreparo por parte dos especialistas (BRASIL DE FATO, 2021);
- considerando a atual dinâmica de transmissão do vírus no Paraná em 2021 e pela falta de uma interlocução mais direta e eficaz das autoridades políticas, não se descarta que o estado teria de enfrentar ainda mais uma onda, agravando o sistema público de saúde (PLURAL, 2021).

O presente trabalho trata-se de uma revisão dos acontecimentos envolvendo a COVID-19 e as estruturas hospitalares no município de Curitiba, desde o início dos casos, em março de 2020 até 10/08/2022. Também teve como objetivo entender o avanço da doença no município de Curitiba, principalmente o efeito da vacinação contra a COVID-

19 sobre o número de internamentos clínicos². A relevância principal desse trabalho é a necessidade de aprofundar e enriquecer o tema dentro do escopo científico e levantar alguns pontos ainda a serem discutidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Conjunto de Dados

Foram analisados três conjuntos de dados neste trabalho, todos disponíveis de forma on-line. No site do DataSus³ foram extraídos dados sobre internamentos clínicos e vacinas aplicadas, associados a COVID-19; e no site da SESA-Paraná⁴, casos confirmados de COVID-19.

Em internamentos clínicos, as informações sobre número de internações são diárias e registradas por estabelecimentos de saúde de todo o país. Para incluir dados somente do município de Curitiba, foi preciso identificar os estabelecimentos de saúde de Curitiba. Esta informação foi obtida no site do Cadastro Nacional dos Estabelecimentos de Saúde (CNES) sobre Hospitais e UPAs do município. Em casos confirmados, está registrado o número diário de casos confirmados no Paraná, por município. Já em vacinas aplicadas estão registradas, por indivíduo, informações sobre a data de aplicação, o tipo de dose (1ª dose; 2ª dose; se for o caso, dose única; e doses de reforço) e o município em que recebeu a vacina.

Foi feita a junção dos arquivos referentes aos anos de 2020, 2021 e 2022, para cada um dos três conjuntos de dados analisados. O arquivo denominado internamentos clínicos possui 12.576 linhas com 25 variáveis, com dados a partir de 17/04/2020 até 10/05/2022. O arquivo vacinas aplicadas possui 27.423.179 linhas com 32 variáveis, e contém informações de 11/08/2020 a 10/08/2022. E o arquivo casos confirmados possui 2.755.038 linhas e 17 variáveis, com dados entre 08/03/2020 e 09/11/2022.

² Este trabalho não inclui internações em leitos de UTI.

³ <https://opendatasus.saude.gov.br> extraídos em 4 de agosto e 13 de agosto de 2022, respectivamente.

⁴ <https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/Coronavirus-COVID-19>, extraída em 10 de novembro de 2022.

Foram ainda realizadas algumas adequações nos arquivos a fim de evitar qualquer informação que pudesse prejudicar a análise como um todo e assim diminuir sua eficácia. Em um primeiro momento, no arquivo de internamentos clínicos, devido à mudança de layout no cadastro de informações, a partir do mês de maio de 2021, os dados sobre a ocupação de leitos clínicos anteriores a esta data, que se encontravam na coluna "ocupacaoConfirmadoCli", inserimos na coluna "ocupacaoCovidCli". E no arquivo vacinas aplicadas: excluimos os registros anteriores a 19/01/2021, pois esta foi a data em que Curitiba recebe o primeiro lote de vacinas contra a COVID-19; também unificamos os nomes dos fabricantes de vacinas, pois dependendo do local de aplicação, o registro da aplicação da dose da vacina poderia ser nomeado como Astrazeneca ou Astrazeneca/Fiocruz, por exemplo. E para indivíduos que apresentavam registros duplicados, considerados somente o registro com a data de aplicação da vacina mais recente.

Para a análise das séries, os dados diários foram agregados em semanas. E por fim, as três séries foram agrupadas resultando em uma única base de dados utilizada na análise.

A base de dados contém informações semanais das variáveis: número de internamentos clínicos; número de casos confirmados de COVID-19; número semanal de pessoas com esquema vacinal completo; número acumulado da população com esquema vacinal completo⁵, categorizada em 8 faixas de percentual populacional; e foi criada uma variável indicadora semanal de bandeira vermelha em Curitiba. O QUADRO 1 apresenta uma breve descrição das variáveis na base de dados.

Para calcular os percentuais populacionais adotamos a estimativa do IBGE (2020) de 1.963.726 habitantes em Curitiba para o ano de 2021. E o percentual acumulado foi calculado até a data de 10/08/2022, quando atingiu o percentual de 70,57%.

⁵ O indivíduo possui o quadro completo quando possui a 1ª e a 2ª dose da vacinação contra COVID-19, ou a vacina de dose única da JANSSEN aplicada, conforme consta no plano nacional de vacinação.

QUADRO 1 – Descrição das variáveis na base de dados para Curitiba

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
qtde_intern_cli	Número semanal de internamentos em leitos clínicos
qtde_casos_conf	Número semanal de casos confirmados de COVID-19
qtde_pessoas_esq_vac	Quantidade de pessoas com esquema vacinal completo em Curitiba
bandeira_vermelha	1, se foi uma semana sob a bandeira vermelha; 0, caso contrário
faixa_prop_pop_esq_vac	(0%, 10%]; (10%, 20%]; (20%, 30%]; (30%, 40%]; (40%, 50%]; (50%, 60%]; (60%, 70%]; maior que 70%

NOTA: faixa em negrito é a faixa de referência

2.1.2 Recursos Computacionais

Para a construção das séries foi utilizado o software R, versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021), com os pacotes *plyr* (WICKHAM, 2011), *dplyr* (WICKHAM, 2021), *data.table* (DOWLE, 2021), *car* (FOX, 2019) e *zoo* (ZEILEIS, 2005). A interpolação linear dos dados faltantes foi realizada com o uso da função *na.approx*, do pacote *zoo*. O software R, também foi utilizado para ajustar modelos aos dados descritos na Seção 2.1.1, com os pacotes: *dynlm* (ZEILEIS, 2019), *ggplot2* (WICKHAM, 2016), *scales* (WICKHAM, 2020) e *lmtest* (ZEILEIS, 2002). O pacote *dynlm* é utilizado frequentemente para desenvolver análises de séries temporais, e é capaz de ajustar e promover diagnósticos sobre os dados apresentados na Seção 2.1.1. O pacote *ggplot2* serviu como um gerador de gráficos para facilitar a visualização e o entendimento do banco de dados analisado e análise gráfica dos resíduos. Já o pacote *scale*, foi utilizado para a construção de escalas no auxílio da visualização gráfica, em conjunto com o pacote *ggplot2*. E por fim o pacote *lmtest*, para a realização de testes de homoscedasticidade e independência dos erros.

2.2 Métodos

2.2.1 Séries Temporais

A análise de séries temporais é uma técnica estatística que lida com dados de séries temporais e análise de tendências. Os dados de uma série temporal são uma coleção de valores resultantes da medição de uma variável em uma única unidade, em intervalos periódicos e regulares (ou coletados em intervalos específicos), e por consequência, os dados são ordenados, e se forem intervalos de tempo, a ordenação é cronológica. Os dados

da série temporal apresentam dependência serial, isto é, dependência entre instantes de tempo. A notação usual para denotar uma série temporal é $S_1, S_2, S_3, \dots, S_T$ que indica uma série de tamanho T e S_i é o valor da variável no tempo i , para a unidade que está sendo observada ao longo do tempo. Neste trabalho, a unidade analisada é o município de Curitiba.

Tradicionalmente ao analisar uma série temporal, realiza-se sua decomposição em componentes de tendência, ciclo e sazonalidade. A tendência da série é o indicador do comportamento considerando um longo espaço de tempo, isto é, se ela cresce, decresce ou permanecerá estável neste período, e qual a velocidade em que estas mudanças ocorrerão. Os ciclos são identificados pelas oscilações nos comportamentos de subida e de queda nas séries, de forma suave e repetida, ao longo do componente de tendência. Por fim a sazonalidade em uma série corresponde às flutuações de subida e de queda que sempre ocorrem em um determinado período da série analisada, sendo que este período pode ser, por exemplo: anual, mensal, semanal ou diário.

As séries temporais podem ser estacionárias ou não estacionárias. Quando os valores de uma série podem ser descritos como, além de uma função matemática do tempo, apresentarem um comportamento aleatório, ao entorno de uma média constante, a série é chamada estocástica. Como exemplo de não séries temporais não estacionárias pode-se descrever séries sazonais ou com tendência linear ou exponencial.

Uma série estacionária flutua em torno de uma mesma média ao longo do tempo, independente do tempo, com a variância das flutuações permanecendo essencialmente a mesma. Os valores observados de um processo estocástico são referidos como uma realização do processo estocástico.

Para uma série ser considerada estacionária, a série também precisa atender a condição de estacionariedade de 2ª ordem, o que implica em: média do processo é constante e variância do processo é constante.

Em um modelo para uma série temporal, é necessário reconhecer a relação entre observações atuais e anteriores. A autocorrelação entre as observações s_t e s_{t-1} (autocorrelação com *lag* 1) indicará como os valores que se encontram no tempo t , estão relacionados com seus valores imediatamente precedentes, enquanto a autocorrelação entre s_t e s_{t-2} (autocorrelação com *lag* 2) fornecerá uma relação das observações s_t com aqueles atrasados em dois intervalos de tempo.

Segundo Morettin, os procedimentos de identificação do modelo de uma série temporal consistem em duas partes:

a) Diferenciar a série temporal original tantas vezes quantas necessárias para obtenção de uma série estacionária, ou seja, obter uma série com comportamento aleatório e comportamento constante ao redor de uma média, de modo a possibilitar a análise do processo com o modelo ARMA (p, q), sendo p o número de parâmetros autorregressivos e q o número de parâmetros de médias móveis; o número de diferenciações d é aquele necessário para que a função de autocorrelação amostral (ACF) da série transformada decresça rapidamente para zero;

b) a identificação de um processo AR (p), MA (q) ou ARMA (p, q) é feita através da análise das funções de autocorrelação simples (ACF) e da autocorrelação parcial (PACF), com determinação dos valores dos parâmetros p, q (MORETTIN, 1987).

Um caso particular que generaliza uma classe especial de interesse em series temporais, de modo similar a regressão linear, é o modelo de espaço de estados ou o modelo linear dinâmico. Conforme PÉREZ et al. (2022):

Em geral, o modelo de espaço de estados é caracterizado por dois princípios. Primeiro, há um processo oculto ou latente X_t , chamado processo de estado. O processo de estado é assumido como sendo um processo de Markov; isso significa que os futuros efeitos $\{X_s: s > t\}$ e os efeitos passados $\{X_s: s \leq t\}$, são condicionalmente independentes no presente, X_t . A segunda condição é que as observações Y_t sejam independentes, dados os estados X_t . Isso significa que a dependência entre as observações é gerada pelos estados.

Como medida de ajuste em modelos de séries temporais podemos considerar o uso de medidas como AIC (*Akaike Information Criterion*) e BIC (*Bayesian Information Criterion*), sendo o AIC uma medida de qualidade de ajuste penalizada pela complexidade do modelo (número de parâmetros), para um problema qualquer, pode-se ajustar diferentes modelos e optar por aquele que produzir menor AIC. O BIC penaliza mais fortemente modelos mais complexos para maiores tamanhos de amostras. Pode-se ajustar diferentes modelos e optar por aquele que produzir menor AIC e/ou menor BIC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

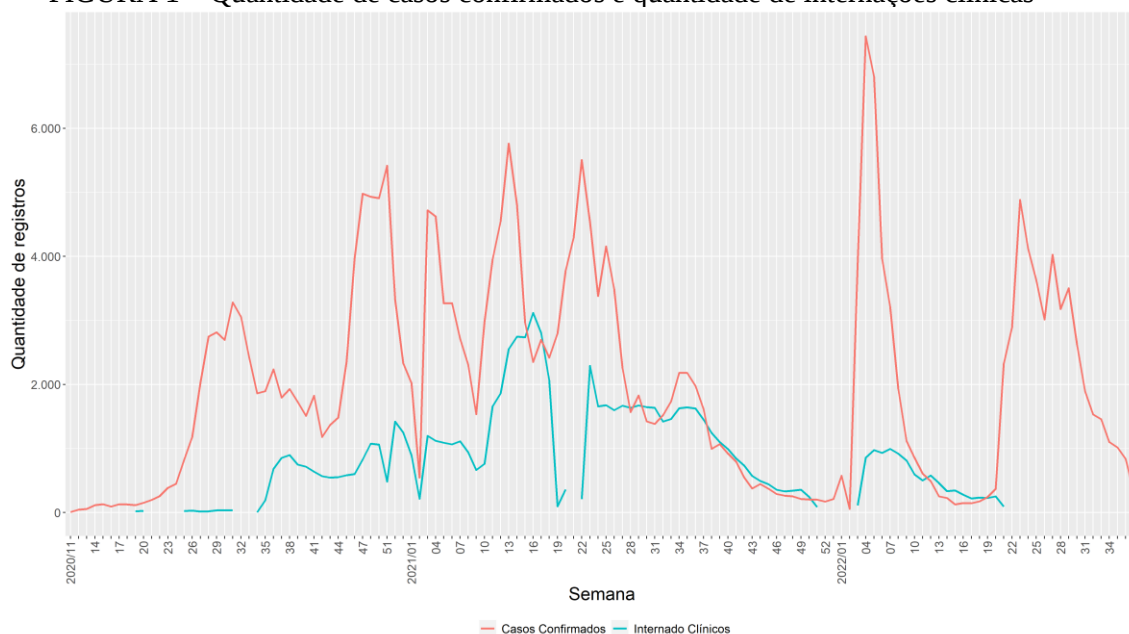
Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados, com a visualização gráfica do comportamento dos dados e possíveis *insights* sobre o que poderia explicar de uma forma condizente o comportamento do número de internamentos em leitos clínicos ocupados em Curitiba, a fim de obtermos um modelo que se ajuste aos dados, por meio de

variáveis explicativas relevantes durante o período de pandemia e investigar o efeito da vacinação sobre as séries de internações.

3.1 Análise descritiva dos dados

Conforme a FIGURA 1, podemos observar que o número semanal de casos confirmados geralmente foi superior ao número semanal de internamentos em leitos clínicos. Esse comportamento é facilmente explicado pelo cenário da época, pois a população mundial ainda não contava com uma vacina de eficácia comprovada para combater a doença. O gráfico consegue reproduzir o aumento de casos decorrentes da segunda onda de COVID-19 no país. E em 2021, com o início da vacinação em Curitiba, pode-se notar a clara diminuição do número de internamentos em leitos clínicos.

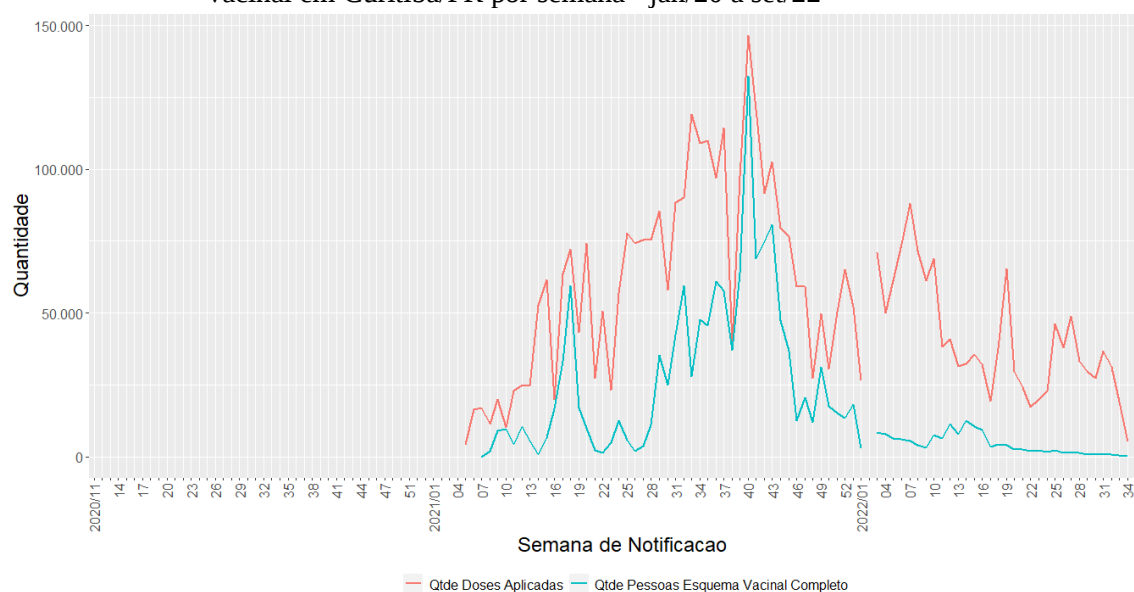
FIGURA 1 – Quantidade de casos confirmados e quantidade de internações clínicas



Ainda referente a FIGURA 1, pode-se perceber o comportamento não sazonal do número de casos confirmados de COVID-19, já que aparentemente, não há nenhum padrão claro e de fácil distinção nesta série. Para a quantidade de internamentos clínicos o conjunto analisado apresentou alguns dados faltantes (*missing*) em algumas semanas de 2020, durante o final do ano de 2021 e início de 2022⁶.

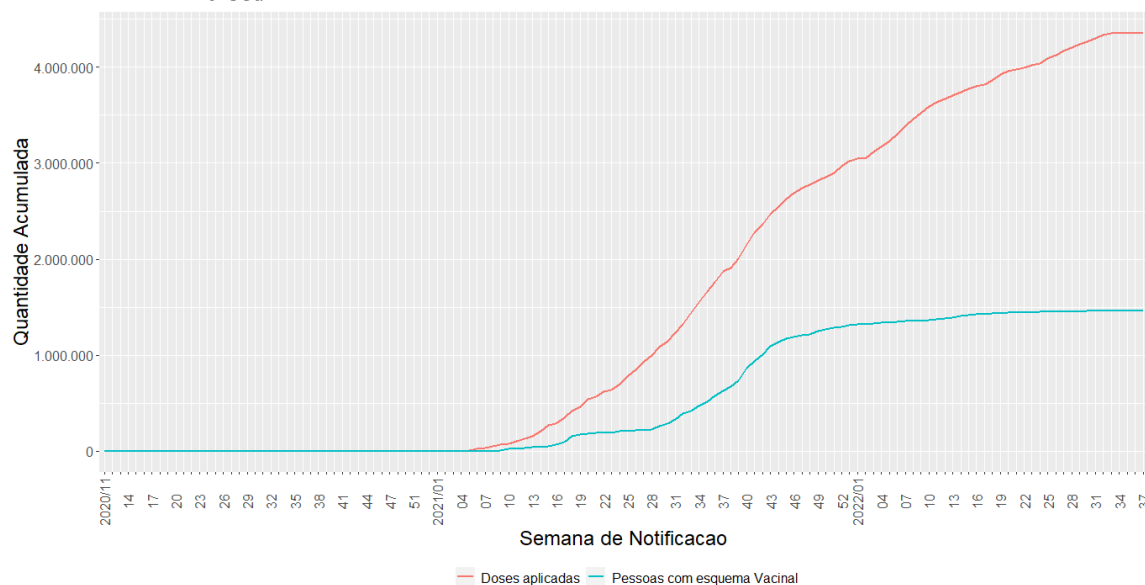
⁶ Semanas: 17ª, 18ª, 21ª à 24ª, 32ª e 33 de 2020, 52ª e 53ª de 2021 e semanas 1ª, 2ª e 3ª de 2022.

FIGURA 2 – Número de doses aplicadas e de indivíduos que completaram o esquema vacinal em Curitiba/PR por semana - jan/20 a set/22



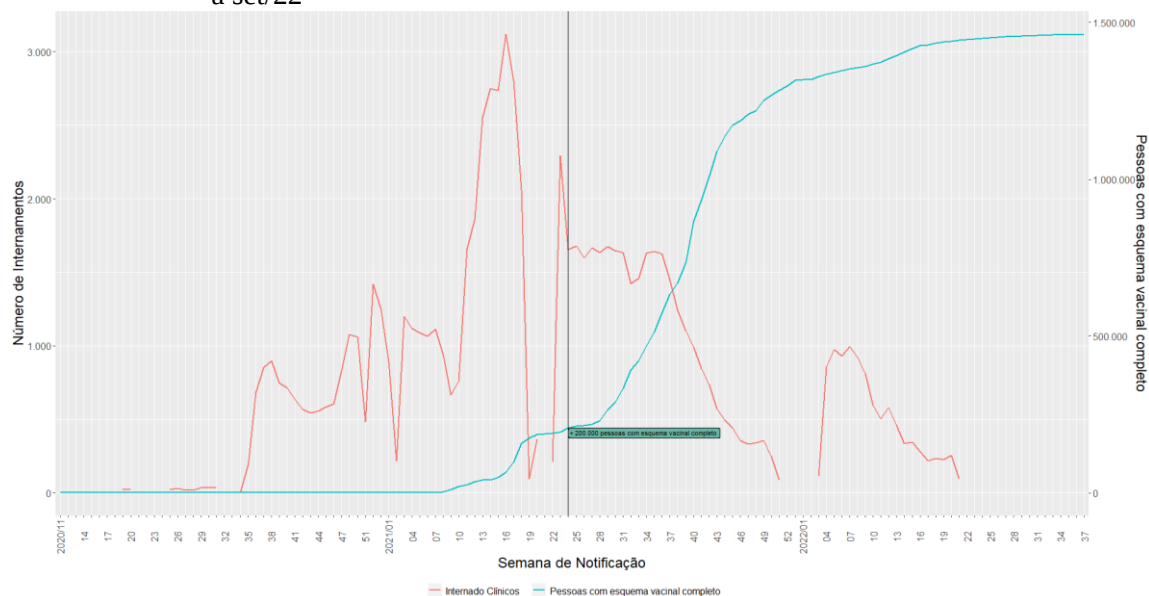
A FIGURA 2 apresenta o número semanal de doses de vacina aplicadas na cidade de Curitiba como também o número semanal de indivíduos que completaram o esquema vacinal. No entanto, essas séries contêm uma lacuna, ou seja, um período sem nenhum registro na segunda semana de 2022, porém o modelo final ajustado comporta semanas com dados *missing*. Outro ponto importante é sobre a vacina JANSSEN, de dose única. Esse fato explica a existência de um intervalo de tempo tão pequeno entre o início dos registros de doses aplicadas e o início dos registros de indivíduos com esquema de vacinação completo. A FIGURA 3 apresenta as mesmas informações da FIGURA 2, porém com os dados acumulados. Verifica-se na FIGURA 3 que número acumulado de doses aplicadas tem um crescimento acentuado a partir da semana 12ª semana de 2021, enquanto o número acumulado de indivíduos com esquema vacinal completo, a partir desta mesma semana, apresentou um crescimento bem mais lento.

FIGURA 3 – Números acumulados de indivíduos doses aplicadas e de indivíduos com esquema vacinal completo de COVID-19 em Curitiba/PR por semana - jan/20 a set/22



Na FIGURA 4 observam-se, o número de internamentos em leitos clínicos e o número de indivíduos com o esquema vacinal completo por semana, no período estudado. Nos dois eixos verticais (incluídos em cada lado do gráfico) há escalas diferentes para exibir com clareza o comportamento das duas séries. Verifica-se na FIGURA 4 que na semana em que o número acumulado de indivíduos com esquema vacinal completo passou de 200 mil, o número de internamentos clínicos, entrou em um período de estabilidade por 13 semanas, para depois ter um decaimento expressivo até o início de 2022; quando, na quarta semana houve uma tendência de crescimento e com redução a partir da nona semana deste ano.

FIGURA 4 – Número de internamentos clínicos e número acumulado de indivíduos com esquema vacinal completo de COVID-19 em Curitiba/PR por semana - jan/20 a set/22



3.2 Ajustes de modelo

A abordagem utilizada para modelar o número de internamentos clínicos em função das variáveis explicativas, considerando a série com dados semanais de Curitiba, foi o modelo dinâmico de regressão linear, disponível no pacote *dynlm* da linguagem R. Este pacote, permite a inserção de um efeito retrógrado (*lag*) de algumas semanas das variáveis explicativas sobre a resposta, proporcionando assim analisar a influência das variáveis explicativas de algumas semanas anteriores à semana da variável resposta. O pacote também suportou de forma satisfatória a presença de dados faltantes durante algumas semanas na variável resposta.

Foi aplicada a transformação logarítmica em todas as variáveis, com exceção da variável indicadora de bandeira vermelha, para a diminuição de efeitos de viés que poderiam ser bastante influenciados pela correlação nos dados, pico da distribuição, *outliers*, entre outros.

Inicialmente construímos modelos com as variáveis: número acumulado de pessoas com esquema vacinal completo; indicadora de bandeira vermelha; *lags* de 1 até 10 semanas do número de internamentos clínicos; *lags* de 1 até 10 semanas do número de pessoas com esquema vacinal completo; e posteriormente, todas as combinações entre *lags* número de internamentos clínicos e *lags* número de pessoas com esquema vacinal completo.

Como a inclusão de *lags* do número de internamentos clínicos estava mascarando a significância de outras variáveis explicativas, optamos por excluir esta variável do modelo e incluir o percentual acumulado da população com esquema vacinal completo em 8 faixas; como também utilizar intervalos menores nos *lags*, de 1 até 4 semanas. Por ser uma variável categórica, o percentual acumulado da população com esquema vacinal completo foi incluído no modelo, por 7 variáveis indicadoras de faixa.

O modelo final com menor AIC e BIC, para explicar o comportamento da variável resposta, número de internamentos clínicos, inclui as variáveis explicativas: indicadora de bandeira vermelha; *lag* de 1 semana nas 7 indicadoras de faixa de percentual populacional com esquema vacinal completo; e, número de casos confirmados e *lag* de 4 semanas no número de casos confirmados.

Como a inclusão do *lag* da quantidade de internamento clínico estava mascarando a significância de outras variáveis explicativas, optamos por excluir esta variável do modelo e incluir as indicadoras de percentual da população com esquema vacinal completo. Fizemos novas buscas em modelos com um intervalo menor de *lag*, chegamos ao modelo que apresentou 4 semanas de intervalo de casos confirmados.

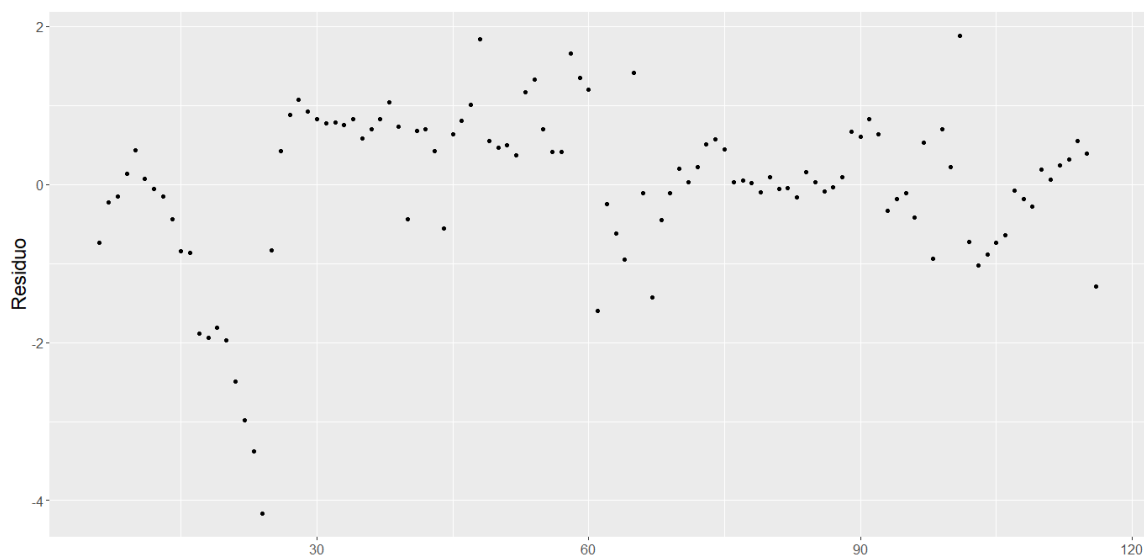
As variáveis explicativas, selecionadas para compor o modelo e explicar o comportamento da variável resposta, em escala logarítmica foram: o número de casos confirmados, a indicadora de bandeira vermelha no município e a faixa de percentual da população com esquema vacinal completo.

3.2.1 Análise de resíduos

Ao analisar os resíduos do modelo final percebemos que esta série residual apresenta uma instabilidade em seu início, conforme a FIGURA 5. Portanto foram retiradas as 19 primeiras observações dos resíduos, antes de analisá-los.

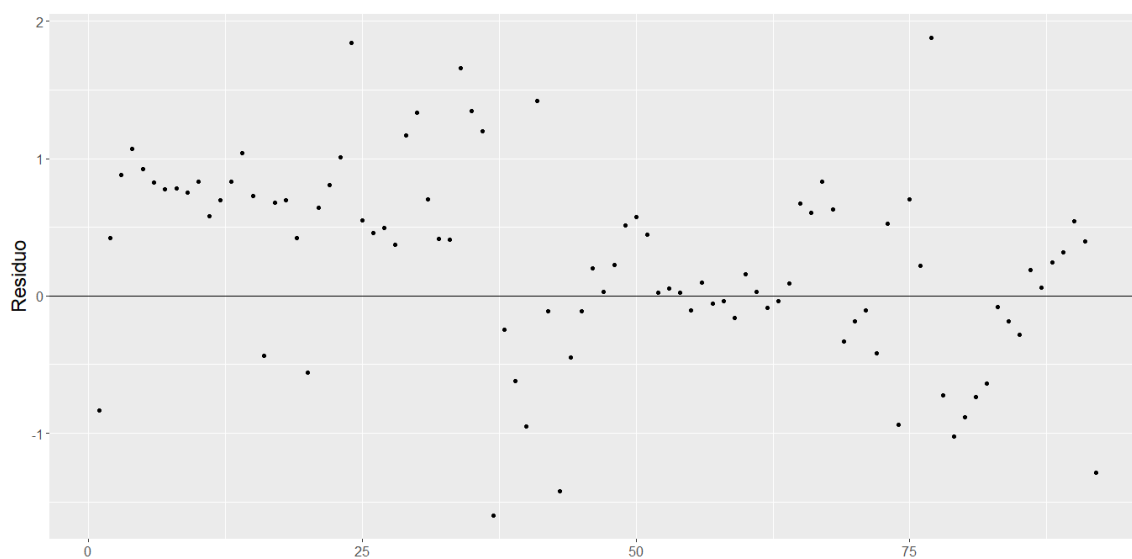
Este procedimento de retirada de observações pode ser realizado quando o processo estocástico apresenta uma instabilidade em seu início da série.

FIGURA 5 – Resíduos do modelo final ajustado



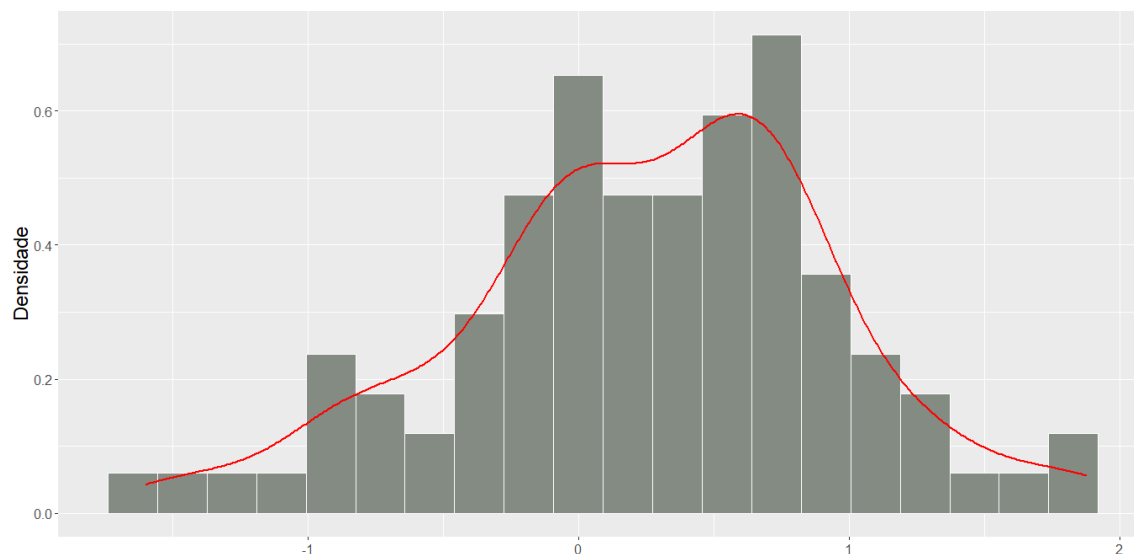
Na análise gráfica dos resíduos verificamos que seus valores estão dispostos entre -2 e 2, tendo um comportamento aleatório em torno de zero, ao longo das semanas, conforme constatado na FIGURA 6.

FIGURA 6 – Resíduos do modelo ajustado



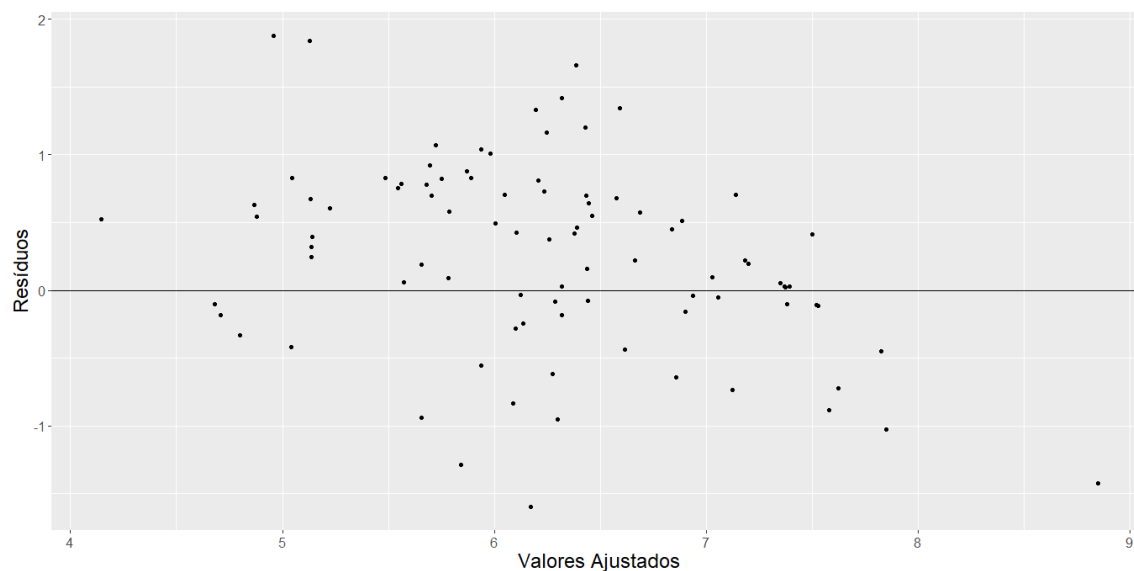
No histograma identificamos que a densidade dos dados segue uma distribuição simétrica, conforme a FIGURA 7.

FIGURA 7 – Densidade dos Resíduos do modelo ajustado



Quando comparamos os resíduos com os valores ajustados, FIGURA 8, percebemos que os pontos não estão dispersos entre os valores de 4 a 9, ficando mais concentrados entre os valores 5,5 a 8, na escala logarítmica.

FIGURA 8 – Resíduos do modelo ajustado x Valores ajustados



Para verificar os pressupostos de uma série temporal realizamos os testes:

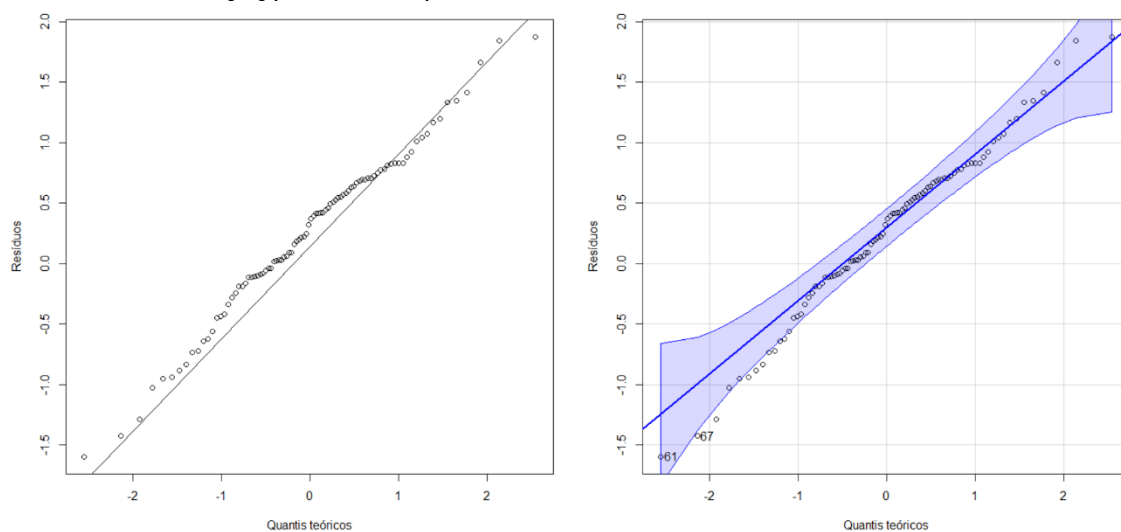
- Shapiro-Wilk para testar a normalidade, que apresentou um p-valor de 0,5004, onde não rejeitamos a hipótese nula de que há normalidade nos resíduos;

- Breusch-Pagan para testar a homoscedasticidade, que apresentou um p-valor de 0,218, onde não rejeitamos a hipótese nula de que a variância dos resíduos é constante ao longo do tempo;
- Durbin-Watson para testar a independência, com um p-valor menor que $2,2e-16$ e, portanto, rejeitamos a hipótese nula de que não há correlação entre os resíduos, ou seja, há indicações que os resíduos são dependentes.

Este resultado de dependência já era esperado pois há uma correlação positiva entre a quantidade de casos confirmados e a quantidade de internamentos clínicos. Ao aumentar a quantidade de casos confirmados, a quantidade de internamentos clínicos tende a aumentar também. Este problema poderia ter sido amenizado com a utilização de técnicas clássicas de análises de séries temporais diferenciando a série até obter uma série estacionária.

Os gráficos de normalidade demonstram que os valores residuais não se alinham exatamente sobre os quantis teóricos, e o gráfico de envelopes simulados mostra que há alguns pontos fora desta região de aceitação de normalidade.

FIGURA 9 – Q-Q plot e envelope simulado dos resíduos



3.2.2 Interpretação do Modelo

A TABELA 1 apresenta as estimativas para os coeficientes do modelo final.

TABELA 1 – Coeficientes estimados do modelo final

COVARIÁVEL	Estimativa	p-valor
Intercepto	-13,7371	1,20e-08
log_qntde_casos_conf	0,3850	0,001722
bandeira_vermelha	1,1190	0,02684
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_01, 1)	1,1643	0,003208
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_02, 1)	1,7715	0,001576
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_03, 1)	1,4576	0,023168
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_04, 1)	1,6079	0,03832
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_05, 1)	1,5861	0,006275
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_06, 1)	1,2203	6,78e-05
Lag (faixa_prop_pop_esq_vac_07, 1)	1,7075	0,000102
Lag (log_qntde_casos_conf, 4)	0,6529	1,07e-08

As estimativas do TABELA 1 indicam que quando Curitiba estava em semana de bandeira vermelha, havia um acréscimo de 1,1190 no log (número de internamentos clínicos). Para o efeito da variável log (número de casos confirmados), verificamos que para cada caso confirmado na escala logarítmica, haverá um acréscimo de 0,3850 na resposta e para cada caso confirmado, a 4 semanas atrás (em escala logarítmica), levará a um aumento de 0,6529 na variável resposta. Quanto aos coeficientes estimados dos indicadores da faixa percentual da população com esquema vacinal completo, o efeito da faixa indicada é dobrado e são somados os efeitos das demais faixas; diferentemente dos modelos de regressão tradicionais com variáveis indicadoras. Por exemplo, se na semana anterior a proporção for de 55%, então o efeito da faixa 5 sobre a resposta é de $2 \times 1,5861$ + as estimativas das demais faixas, quando comparado ao efeito da faixa de referência.

Para o ajuste do modelo, a variável resposta foi transformada em logaritmo, portanto os valores preditos pelo modelo devem ser exponenciados, para retornar a escala original.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho foi avaliar se a vacinação da população influenciaria o número de internamentos clínicos, em relação a COVID-19. Para tanto, coletamos dados em sites governamentais e aplicamos técnicas de análise de séries temporais com modelos dinâmicos.

Este tipo de modelagem vai além do conteúdo da disciplina de séries temporais na graduação e por se tratar de uma técnica recente, lançada em 2019, ainda não temos muitos estudos disponíveis que poderia nos servir de base para o nosso trabalho.

Apesar dessas desvantagens, verificamos que o modelo final parece apresentar um bom ajuste aos dados, conseguindo acompanhar as oscilações decorrentes da série semanal do número de internamentos clínicos.

Na análise dos resíduos identificamos que embora os testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan comprovassem a normalidade e a homocedastidade dos dados, o teste de Durbin-Watson mostrou que temos correlação no resíduo. Isto já era um resultado esperado pois há uma correlação positiva entre a quantidade de casos confirmados e a quantidade internamento clínico.

Para dar continuidade a este trabalho, algumas propostas interessantes seriam:

- Aplicação de outras abordagens de séries temporais que poderiam favorecer a hipótese de que a vacinação da população se reflete na quantidade de internamentos clínicos;
- Atualização das bases de dados para verificar a sensibilidade e especificidade do modelo;
- Estudo considerando as internações em leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI);
- Busca de uma metodologia que possibilite uma resposta multivariada para analisar conjuntamente as ocorrências de internamento clínico e de internamento em UTI.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Estela ML et al. **Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de COVID-19: potenciais impactos e desafios no Brasil**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. suppl 1, p. 2423-2446, 2020.

BEM PARANA. **Estudo prevê 4ª onda de Covid-19 em Curitiba com número de mortos quatro vezes maior até o fim de março**. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/estudo-preve-quarta-onda-de-covid-19-em-curitiba-com-numero-diario-de-mortos-quatro-vezes-maior>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

BRASIL DE FATO. **Universidade do Paraná alerta: nova onda no estado pode começar em duas semanas**. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2021/05/27/universidade-do-parana-alerta-nova-onda-no-estado-pode-comecar-em-duas-semanas>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

BRASIL. **O que é a Covid-19?**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

CRMPR. Covid-19: **Notícias e informes oficiais**. Disponível em: <<https://www.crmpr.org.br/Covid19-Noticias-e-informes-oficiais-1-53716.shtml>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Curitiba contra coronavírus. 2020**. Disponível em: <<https://coronavirus.curitiba.pr.gov.br/noticias/decretos-amparam-medidas-de-combate-aocoronavirus/55390>>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Veja como funciona o sistema de bandeiras**. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/veja-como-funciona-o-sistema-de-bandeiras/56672>>. Acesso em 15 de dezembro de 2022.

FOGGIATO, Fernanda. **Câmara de Curitiba comemora marca de 1 milhão de vacinados na cidade**. Curitiba: Câmara Municipal de Curitiba, 2021.

G1. **Coronavírus no Paraná: Acompanhe as notícias do estado em relação à pandemia**. G1: Paraná, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/ao-vivo/coronavirus-no-parana-veja-as-principais-noticias-sobre-a-pandemia.ghtml>>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

_____. **Curitiba transforma unidades de saúde em pronto atendimento e fecha serviços não essenciais aos fins de semana**. G1: Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2021/03/09/curitiba-transforma-unidades-de-saude-em-pronto-atendimento-de-covid-19-e-fecha-servicos-nao-essenciais-aos-fins-de-semana.ghtml>>. Acesso em 9 de março de 2021.

_____. **Curitiba triplica número de casos da Covid-19 em menos de um mês, e secretária fala que 'colapso está no horizonte**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/06/24/curitiba-triplica-numero-de-casos-da-covid-19-em-menos-de-um-mes-e-secretaria-fala-que-colapso-esta-no-horizonte.ghtml>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

_____. **Entenda o que é “Lockdown”**. G1: Maranhão, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/05/06/entenda-o-que-e-lockdown.ghtml>>. Acesso em 15 de dezembro de 2022.

_____. **Número de casos ativos de Covid em Curitiba quase dobra em uma semana**. G1: Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2021/12/31/numero-de-casos-ativos-de-covid-em-curitiba-quase-dobra-em-uma-semana.ghtml>>.

_____. **Veja onde procurar atendimento de saúde em Curitiba para suspeita ou casos de Covid-19**. G1: Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://www.google.com/amp/s/g1.globo.com/google/amp/pr/parana/noticia/2021/03/23/veja-onde-procurar-atendimento-de-saude-em-curitiba-para-suspeita-ou-casos-de-covid-19.ghtml>>. Acesso em 1 de novembro de 2022.

GAZETA DO POVO. **Paraná tem maior atraso nas aplicações do reforço contra Covid-19 entre os estados da região Sul**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/parana/parana-tem-maior-atraso-nas-aplicacoes-reforco-contra-covid-entre-estados-regiao-sul/>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

GRIMM, I. J.; CORBARI, S. D.; KRATCZUK, E. D.; LACERDA, V. C. C.; FERREIRA, L. G. P. **Impacto da pandemia da Covid-19 no setor do turismo de Curitiba (PR): um comparativo entre 2019 e 2020**. Formação (Online), v. 29, n. 55-Dossiê, p. 133-161, 2022.

MACHADO, Carlos. **Números comprovam os efeitos amplamente positivos da vacinação**. Rio de Janeiro: Agência Fiocruz de Notícias, 2021.

MARIMON, Raquel. **Projeção de Infectados pelo novo Coronavírus no Brasil**. São Paulo: Próspera Consultoria, 2020.

MAROS, Angieli. **Curitiba caminha para a pior onda de Covid sem se recuperar do colapso anterior**. Curitiba: Plural Curitiba, 2021.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de Séries Temporais**. [S.l.: s.n.], 1987. 400 p.

PARANÁ. **Secretaria da Saúde do Governo do Estado do Paraná. Boletim Corona vírus**. Disponível em: <<https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/Boletim-COVID19-2020>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

PARANÁ. **Secretaria da Saúde do Governo do Estado do Paraná. Transparência - Leitos SUS ocupados por SRAG / COVID. 2021**. Disponível em: <<https://www.coronavirus.pr.gov.br/Campanha/Pagina/Transparencia-Leitos-SUS-ocupados-por-SRAG-COVID>>. Acesso em 28 de novembro de 2022.

PDUR – PESQUISA E EXTENSÃO EM POLÍTICAS SOCIAIS E DESENVOLVIMENTO URBANO. **Dez meses de Covid 19 na Região Metropolitana de Curitiba: a pandemia no território e as políticas públicas de mitigação de danos em 2020**. Relatório de pesquisa. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2020/07/Dossie-Nucleo-Curitiba_Analise-Local_2020.pdf>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

PÉREZ, Fernando Lucambio. **Análise de Séries Temporais. Capítulo VI.** Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~lucambio/STemporais/STemporaisVI.html>>

PLURAL. **Curitiba caminha para pior onda de Covid sem se recuperar de colapso anterior.** Disponível em: <<https://www.plural.jor.br/noticias/vizinhanca/curitiba-caminha-para-pior-onda-de-covid-sem-se-recuperar-de-colapso-anterior/>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

SANTOS, Livia. et al. **Impactos da Covid-19 e da estratégia de administração da pandemia em Curitiba nas metas ODS 3.** Curitiba: Observatório das Metrópoles, 2022.

UOL. **Como a mortalidade cresceu na segunda onda de covid no Brasil.** Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/amp-stories/letalidade-da-covid-aumenta-entre-primeira-e-segunda-onda/>>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

VICENTE, Marcos. **Por que Curitiba não monta hospital de campanha nem com o colapso da saúde?** Curitiba: Gazeta do Povo, 2021.