

# ANÁLISE DA EXPANSÃO DA COVID-19 EM CURITIBA E NO PARANÁ A PARTIR DA IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS

ANALYSIS OF THE EXPANSION OF COVID-19 IN CURITIBA AND PARANA THROUGH THE IDENTIFICATION OF PARAMETERS

DOI: <http://dx.doi.org/10.16891/2317-434X.v8.e3.a2020.pp692-702> Recebido em: 24.07.2020 | Aceito em: 15.10.2020

*Evandro Cherubini Rolin*

*Instituto Federal do Paraná*  
*\*E-mail: [evandro.rolin@ifpr.edu.br](mailto:evandro.rolin@ifpr.edu.br)*

## RESUMO

O objetivo principal desse trabalho é analisar a expansão da Covid-19 por meio da identificação de parâmetros, a partir dos dados oficiais divulgados pelas Secretarias de Saúde e do município de Curitiba/Paraná/Brasil e do estado do Paraná/Brasil, realizando uma previsão de curto prazo e outra de médio e longo prazo por meio de um modelo SEIR (Suscetível, Exposto, Infectado e Recuperado). Para a simulação das previsões de médio e longo prazo foi utilizado um modelamento matemático com implementação no software Matlab R2019b pelo método de Runge-Kutta de 4º ordem. Para a análise e simulação dos dados de curto prazo foi utilizado o Microsoft Excel 365, sendo utilizado uma projeção para os próximos cinco dias. Trata-se de metodologia quantitativa com fontes de dados primário e secundário, pesquisa de natureza bibliográfica e documental, com recorte temporal de março a junho de 2020. A análise mostra que os parâmetros de infecção equivalem a 74,33 e 18,24 para o Paraná e Curitiba, respectivamente, e para os dados previstos os parâmetros equivalem a 134,92 e 23,14, representando que a cada dia há um aumento correspondente a esses valores no número de casos avaliados. Os resultados mostram um aumento de 75% e de 62,48% em novos casos de infecção previstos em Curitiba e no Paraná, entre os dias 8 e 17/06/2020, sendo que o platô de infecção deverá ocorrer até o final do mês de junho, sendo necessário novas medidas de isolamento social para não saturar os sistemas de saúde.

**Palavras-chave:** Parâmetros; Covid-19; Coronavírus.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the expansion of Covid-19 through the identification of parameters, based on official data released by the Secretariats of Health and the city of Curitiba / Paraná / Brazil and the state of Paraná / Brazil, making a forecast short term and another medium and long term through a SEIR model (Susceptible, Exposed, Infected and Recovered). For the simulation of medium and long term forecasts, a mathematical modeling was used with implementation in the Matlab R2019b software by the 4th order Runge-Kutta method. For the analysis and simulation of short-term data, Microsoft Excel 365 was used, using a projection for the next five days. It is a quantitative methodology with primary and secondary data sources, bibliographic and documentary research, with a time frame from March to June 2020. The analysis shows that the infection parameters are equivalent to 74.33 and 18.24 for the Paraná and Curitiba, respectively, and for the expected data the parameters are equivalent to 134.92 and 23.14, representing an increase that corresponds to these values in the number of cases evaluated by each day. The results show an increase of 75% and 62.48% in new cases of infection predicted in Curitiba and Paraná, between 8 and 06/17/2020, with the infection plateau expected to occur by the end of June, and new social isolation measures are needed to avoid saturating health systems.

**Keyword:** Parameters; Covid-19; Coronavirus.

## INTRODUÇÃO

O primeiro modelo epidemiológico para estudar a disseminação de uma doença infecciosa na população foi proposto por McKendrick e Kermack (1927), que dividiu a população em três subpopulações ou compartimentos denominados de modelo epidemiológico SIR (Suscetível – Infectado - Recuperado). Trata-se de um modelo simples e robusto para o modelamento de epidemias como a COVID-19, sendo amplamente utilizado na literatura, pois mostra a evolução de uma população suscetível S, infectada I e recuperada R.

As primeiras publicações sobre a Covid-19 foram realizadas por Li, Q., et al. (2020), que trata da dinâmica de transmissão precoce da nova pneumonia ocasionada por coronavírus em Wuhan – China, onde foram analisados os primeiros 425 pacientes com confirmação da doença entre dezembro de 2019 e janeiro de 2020.

A Covid-19 avançou rapidamente em vários países, especificamente no Brasil, segundo país em número de casos confirmados e de óbitos no mundo, sendo que alguns estados do Brasil estão ou estiveram com ocupação superior a 90% de seus leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) (BRASIL, 2020a).

Buscando formas de reduzir esse impacto sobre os sistemas de saúde, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o uso obrigatório de máscaras, a lavagem contínua das mãos, o distanciamento e o isolamento social e até medidas extremas como o lockdown, assim como a disponibilização de novos leitos de UTI e de respiradores mecânicos. Essas medidas juntas têm como objetivo diminuir a disseminação do vírus buscando o achatamento da curva de contaminação da Covid-19 e a consequente prorrogação da saturação dos sistemas de saúde e do número de óbitos. Entretanto, os resultados são impactados pelo comportamento da população, seja ela suscetível ou infectada de forma assintomática ou sintomática (WHO, 2020).

Muitos municípios no Brasil tomaram medidas de isolamento social, mas essas medidas têm sido flexibilizadas mesmo com o aumento nos números de óbitos, como nos estados da região sul. Outra medida importante no combate a pandemia é a testagem da população.

A Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba anunciou em 02/06/2020 que ampliaria os testes para diagnosticar a doença a partir do mês de junho. Além dos quadros sintomáticos respiratórios graves, serão testados também os casos leves e os moderados, os profissionais que prestam serviços essenciais à população, familiares e contatos próximos de pacientes confirmados com a doença ou que foram a óbito, além de pessoas em situação de rua ou em vulnerabilidade social. Outra medida adotada pela prefeitura do município foi a inclusão em boletins diários sobre a Covid-19, a partir de 28/05, dos resultados dos testes rápidos realizados em farmácias, o que levará ao aumento no número de casos confirmados, assim como de recuperados (CURITIBA, 2020).

Considerando a ocupação controlada do número de leitos de UTI, o governo do estado do Paraná autorizou a abertura com restrições, a partir de 25/05/2020 de shoppings em todo o estado (PARANÁ, 2020).

Essa decisão aumentará o número de pessoas expostas ao risco de infecção, uma vez que o possível contato com outras pessoas que estejam com infecção assintomática ou até mesmo

sintomáticas, pode ampliar o número de infectados, assim como o de óbitos.

Em sintonia com essa preocupação, alguns estudos têm sido realizados para verificação do impacto ocasionado por essa flexibilização em outros estados da federalização, como pela Fundação Oswaldo Cruz, Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal de Pelotas (BRASIL, 2020b, c, d).

Dessa forma, esse trabalho apresenta metodologia quantitativa com fontes de dados primário e secundário, pesquisa de natureza bibliográfica e documental, com recorte temporal de março a junho de 2020, tendo como objetivo principal avaliar a expansão da Covid-19 no município de Curitiba e no estado do Paraná, por meio da identificação de parâmetros, a partir da análise dos dados oficiais divulgados pelas Secretarias de Saúde municipal e estadual, utilizando um modelo de previsão de curto prazo e um modelo SEIR para previsões de médio e longo prazo. Para as análises, os métodos foram implementados no Microsoft Excel 365 e no software Matlab R2019b, utilizando um método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

## METODOLOGIA

O primeiro modelo SIR leva em consideração o número de pessoas suscetíveis, infectadas e recuperadas ou mortas pela doença (KERMACK, W., MCKENDRICK, A., 1927). Nesse trabalho, também é considerado o número de pessoas expostas ao risco de contrair a doença, em função das medidas de flexibilização do isolamento social.

Para tanto, partiremos do número de indivíduos suscetíveis, tratando-se de pessoas não expostas, não infectadas e não imunes que mantêm medidas de isolamento social; pessoas expostas, que são indivíduos não infectados, mas que em função de necessitarem ou não sair do isolamento social podem ter contato com pessoas contaminadas; infectados que são indivíduos que apresentam quadro infeccioso sintomático ou assintomático, que podem transmitir a doença e que em função do processo de flexibilização social, passam a ter contato com pessoas expostas; e os recuperados que representam os indivíduos que se infectaram e se recuperaram, tornando-se imune resistentes, ou que infelizmente não se recuperaram e vieram a óbito.

Para a realização de trabalhos como este é frágil a falta de um repositório nacional com dados confiáveis, uma vez que o próprio Ministério da Saúde chegou a alterar a forma de divulgação das informações, modificando no mesmo dia os próprios dados divulgados, gerando incertezas na comunidade externa quanto a confiabilidade das informações.

Em função dessa dificuldade para a obtenção em um mesmo local de dados que permitam obter com exatidão diversas informações atualizadas acerca da expansão da Covid-19 no Brasil e nos estados, para a elaboração desse trabalho foram utilizados dados da literatura e das Secretarias de Saúde do estado do Paraná e de Curitiba.

A partir dos resultados divulgados por Li, Q., et al. (2020), alguns parâmetros têm sido adotados em outras pesquisas, como o número reprodutivo básico (Rt), que equivale ao número médio que um indivíduo infectado contamina outras pessoas, variando em função da exposição da população. Em Wuhan esse número foi em média de 2,2 com

variação entre 1,4 e 3,9 e intervalo de confiança de 95%.

Valores de  $R_t < 1$  indicam controle da epidemia, obtida por meio de medidas recomendadas pela OMS ou pela aquisição de imune resistência da população, após recuperação da infecção ou da vacinação, sendo o dado necessário para iniciar o período de flexibilização das medidas de isolamento da população. No Brasil em determinados momentos da pandemia essa taxa foi superior a 10 em alguns estados e no final do mês de maio era superior a 1 no país. Enquanto  $R_t > 1$  significa que o número de casos continua aumentando e para  $R_t = 1$  representa uma situação de equilíbrio, onde o número de casos permanece

inalterado (WHO, 2020).

Da mesma forma, o período médio de incubação da doença foi adotado como sendo de 5,2 dias, com variação entre 4,1 e 7,0 dias e intervalo de confiança de 95%. O período de quarentena ou período de recuperação após infectado, em Wuhan foi de 14 dias (LI, Q., et al. (2020)). O modelo proposto não considera a taxa de nascimentos e mortes, além de considerar que após se recuperar da doença o indivíduo torna-se imune a mesma. Nesse modelo a população é dividida em quatro compartimentos (S, E, I e R), sendo representados pelas equações 1 a 4.

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\beta \cdot s(t) \cdot i(t) \tag{1}$$

$$\frac{de(t)}{dt} = \beta \cdot s(t) \cdot i(t) - \sigma \cdot e(t) \tag{2}$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \sigma \cdot e(t) - \gamma \cdot i(t) \tag{3}$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = \gamma \cdot i(t) \text{ ou } r(t) = 1 - s(t) - e(t) - i(t) \tag{4}$$

$$\beta = R_t \cdot \gamma \tag{5}$$

Onde,  $s(t)$  representa as pessoas suscetíveis;  $e(t)$  as expostas;  $i(t)$  as infectadas;  $r(t)$  as recuperadas;  $\sigma$  a taxa de infecção;  $\gamma$  a taxa de recuperação e  $\beta$  a taxa de transmissão da doença. Dessa forma, será adotado  $\sigma=1/5,2$  e  $\gamma=1/14$  como valores fixos obtidos na literatura, conforme descrito anteriormente (LI, Q., et al., 2020). O lado esquerdo das equações 1 a 4 fornecem as taxas de variação das populações dos compartimentos suscetíveis, expostos, infectados e removidos. O termo  $\beta \cdot s(t) \cdot i(t)$  representa o contágio por contato das pessoas suscetíveis com infecciosos (contatos efetivos);  $\sigma \cdot e(t)$  o contágio por contato das pessoas expostas com infectados;  $\gamma \cdot i(t)$  a quantidade de pessoas infectadas que são removidas deste compartimento.

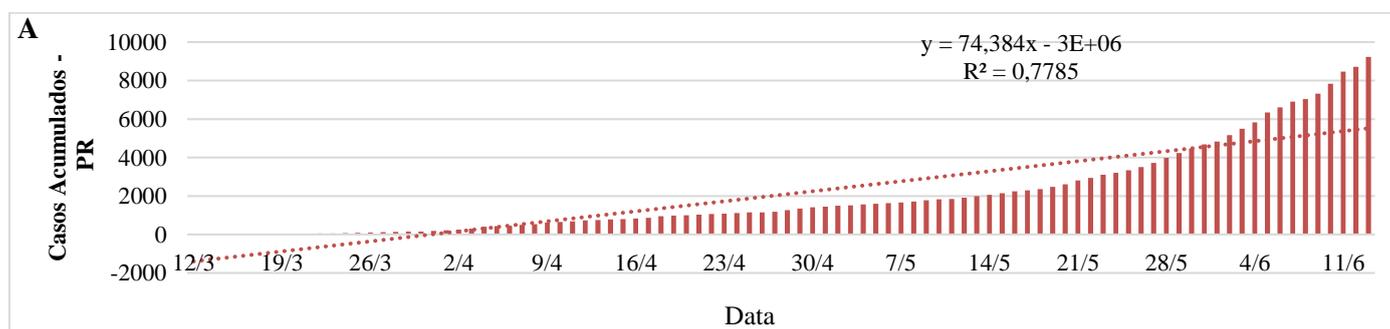
O número total de pessoas infectadas ou de casos confirmados representa a soma do total de indivíduos atualmente infectados, com o total de recuperados e com o total de óbitos pela doença em um determinado intervalo de tempo. O número de pessoas suscetíveis representa a diferença entre a

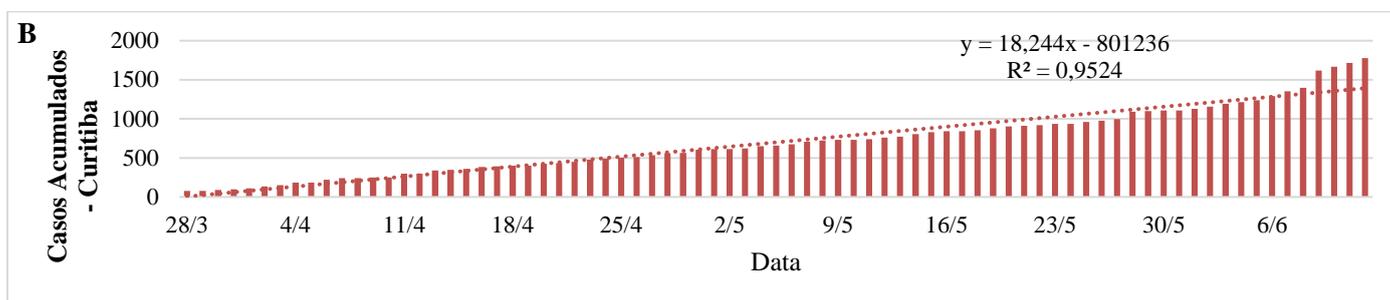
população analisada e o total de casos confirmados. As equações anteriores são resolvidas numericamente usando o método de Runge-Kutta de quarta ordem, sendo implementadas em linguagem Matlab R2019b.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A divulgação dos primeiros casos confirmados ocorreu no Paraná em 12/03/2020 e em Curitiba em 28/03/2020. No dia 27/03/2020 foram detectados os dois primeiros óbitos registrados em Maringá, cidade localizada no norte do Paraná/Brasil e em Curitiba em 06/04/2020. No dia 17/04/2020 a Secretaria de Saúde do Estado do Paraná passou a divulgar os dados em Informes Epidemiológicos, a partir dos quais foi possível realizar esse trabalho (PARANÁ, 2020). A Figura 1 apresenta os casos acumulados confirmados no Paraná e em Curitiba.

**Figura 1.** Casos acumulados confirmados pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e em (b) Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).

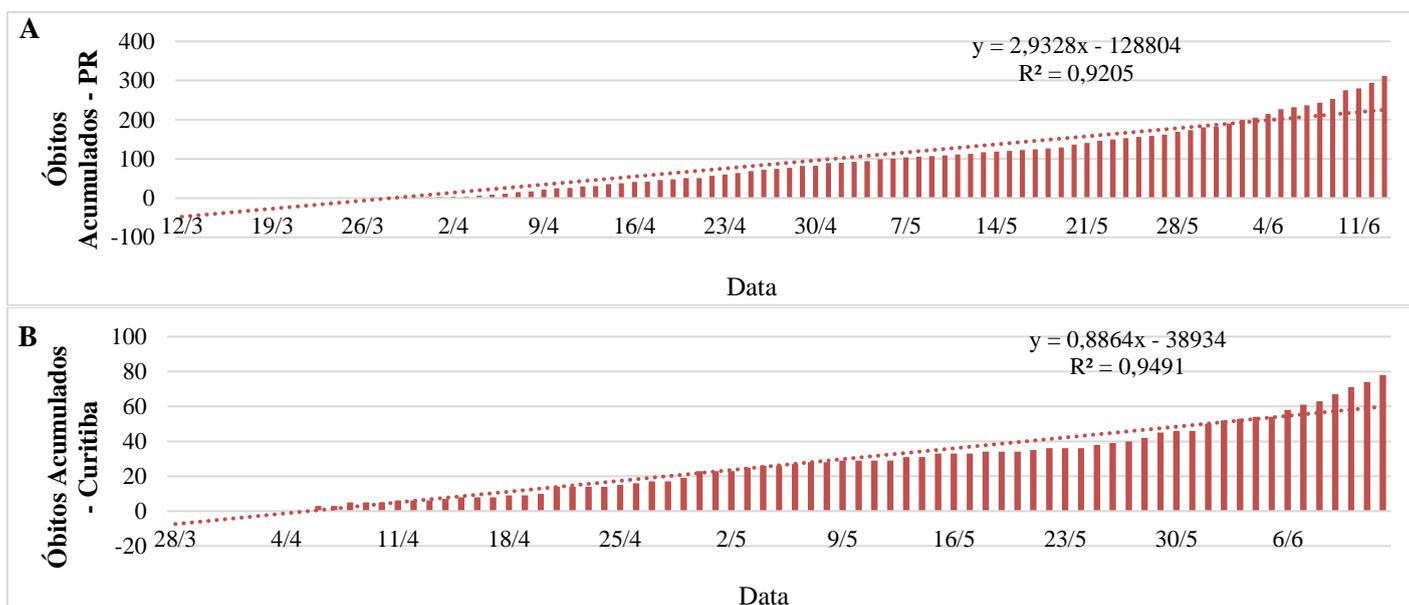




Observa-se uma ampliação dos casos confirmados nas últimas semanas tanto no estado quanto no município, podendo ser ocasionada pela inclusão a partir de 25/05/2020 nos boletins epidemiológicos diários das secretarias de saúde, dos resultados dos testes realizados nas farmácias do estado; da ampliação dos testes realizados pela rede pública; e da flexibilização do isolamento social. O intervalo de variação para Curitiba é de  $698,91 \pm 418,23$  e para o Paraná é  $2060,48 \pm 2298,56$  casos confirmados.

Os coeficientes angulares que representam o parâmetro de infecção equivalem a 74,384 e 18,244 para o Paraná e Curitiba, respectivamente, representando que a cada dia há um aumento correspondente a esses valores no número de casos confirmados, onde o modelo linear explica 77,85% e 95,24% da variância do número de casos acumulados confirmados (variável dependente) em função do tempo (variável independente). A Figura 2 apresenta os óbitos acumulados confirmados no Paraná e em Curitiba.

**Figura 2.** Óbitos acumulados confirmados pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e no (b) município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



Observa-se a tendência de aumento no número de óbitos e que os coeficientes angulares, que representam o parâmetro de óbito, equivalem a 2,9328 e 0,8864 para o Paraná e Curitiba, respectivamente, representando que a cada dia há um aumento corresponde a esses valores no número de óbitos confirmados, onde o modelo linear explica 92,05% e 94,91% da variância do número de óbitos acumulados confirmados em função do tempo. O intervalo de variação para Curitiba é  $29,71$

$\pm 19,11$  e para o Paraná é  $105,73 \pm 80,47$  óbitos.

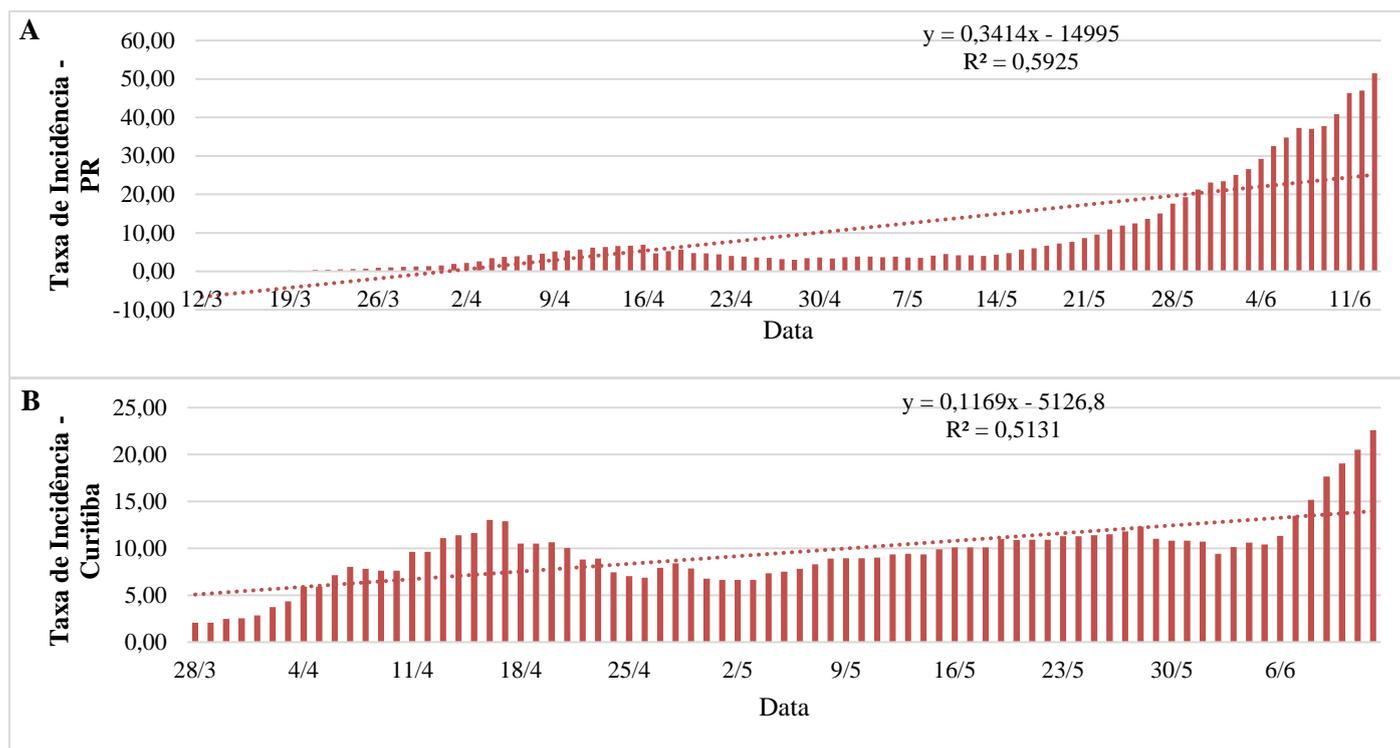
Outro parâmetro de análise em doenças infecciosas é a taxa de incidência ( $t_i$ ) da doença, sendo definida como a razão entre o número de pessoas infectadas, excluindo-se os recuperados e os óbitos, e a população exposta à doença em um espaço geográfico durante um tempo especificado, para uma população de 100 mil habitantes, sendo apresentada pela equação 6.

$$t_i = \frac{I - R - O}{E} \quad (6)$$

Em outras palavras é a probabilidade de que uma pessoa pertencente à população exposta seja contaminada pela doença em um tempo especificado (OPAS, 2020). A

Figura 3 apresenta as taxas de incidência para o Paraná e Curitiba.

**Figura 3.** Taxa de incidência pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e no (b) município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).

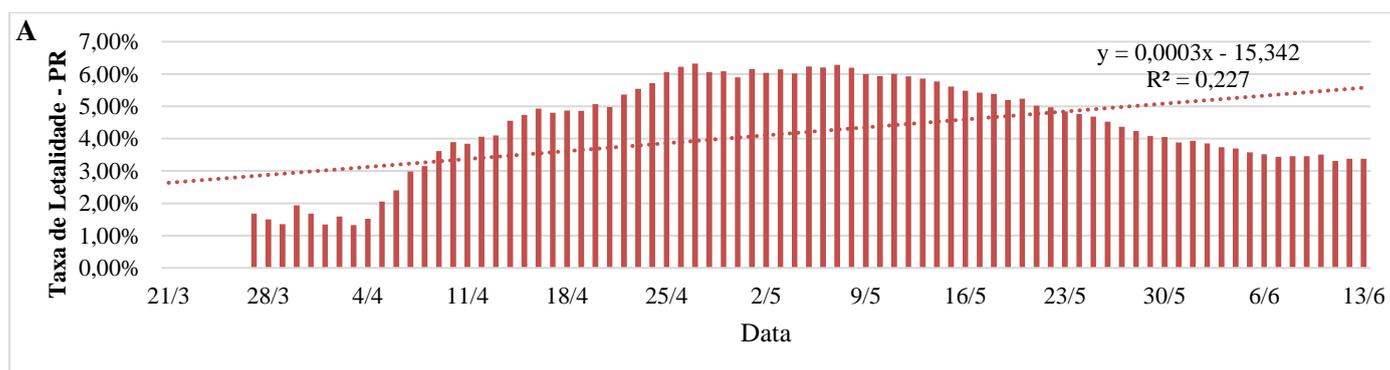


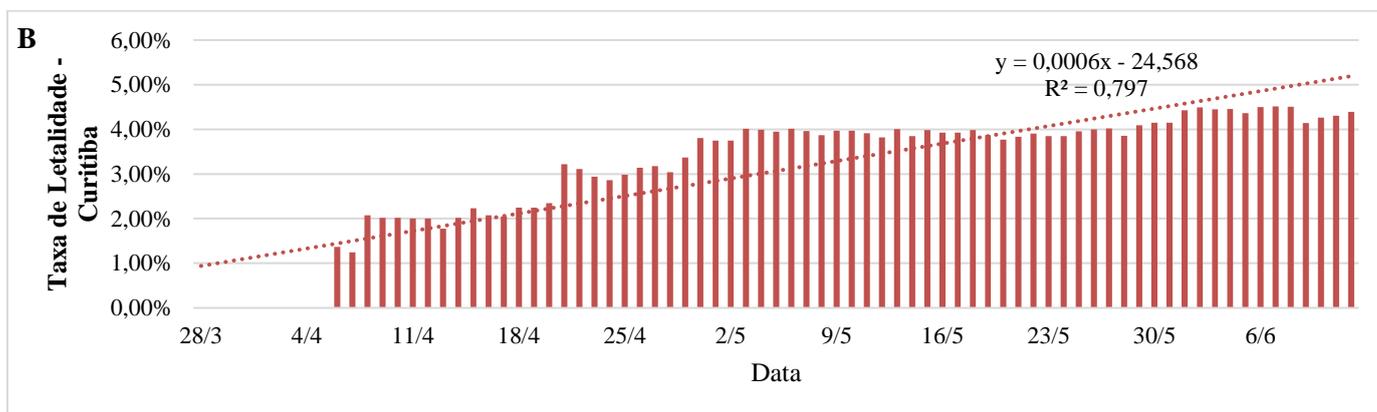
Observa-se que no mês de março a taxa de incidência ultrapassou a linha de tendência em Curitiba e no Paraná, reduzindo nas semanas seguintes, possivelmente em função das medidas de isolamento social aplicadas. Entretanto, as taxas voltaram a apresentar crescimento acelerado nas últimas semanas, possivelmente ocasionadas pela flexibilização das medidas de isolamento social. No dia 12/06/2020 a taxa de incidência em Curitiba era de 22,58 e no Paraná de 46,97. O

intervalo de variação para Curitiba é  $10 \pm 3,65$  e para o Paraná é  $9,24 \pm 12,09$  de incidência.

A taxa de letalidade é outro parâmetro utilizado nas análises, sendo calculada pela razão entre o número de óbitos acumulados e o de casos acumulados confirmados. Dessa forma, a Figura 4 representa a taxa de letalidade no estado do Paraná e em Curitiba.

**Figura 4.** Taxa de letalidade pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e no (b) município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).





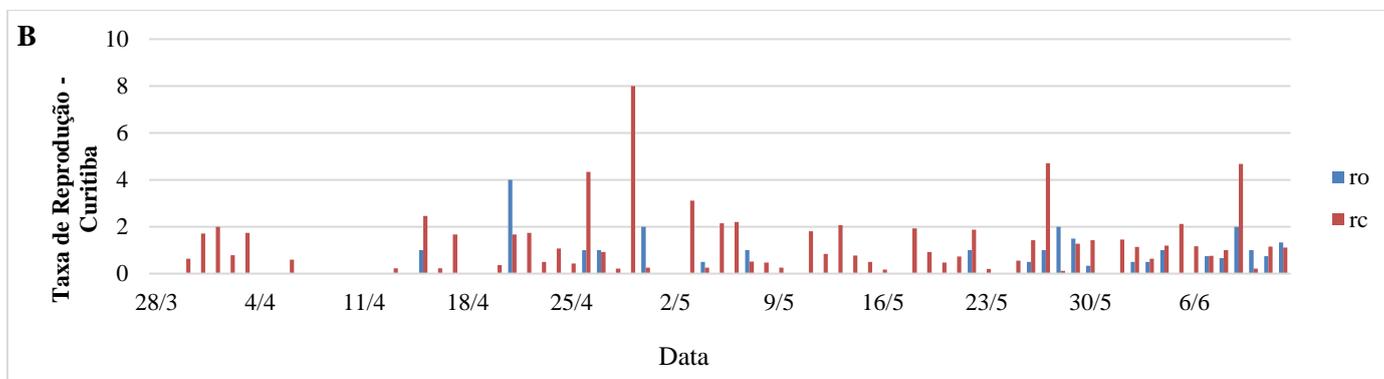
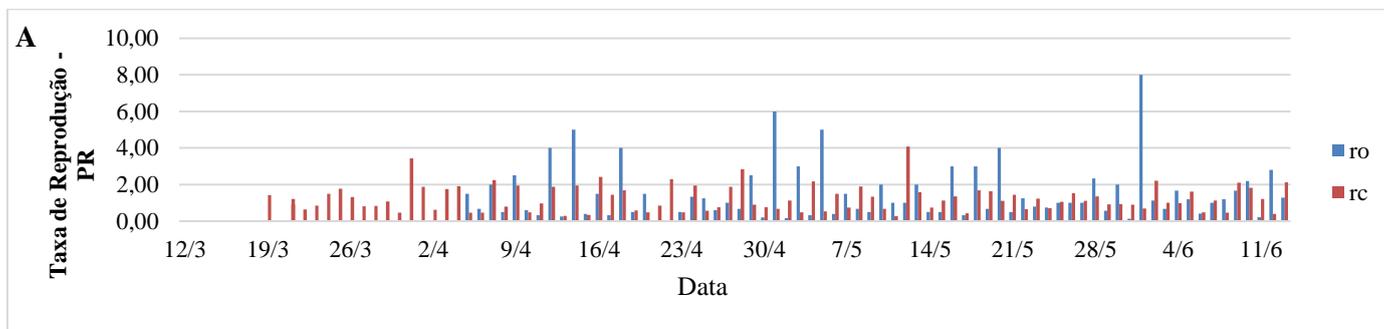
Apesar de ainda apresentarem tendência de crescimento, as taxas de letalidade em 12/06/2020 eram de 3,38% no Paraná e de 4,39% em Curitiba, mas seus picos tinham ocorrido com 6,32% no Paraná e com 4,51% em Curitiba. O intervalo de variação para Curitiba é  $0,03 \pm 0,01$  e para o Paraná é  $0,04 \pm 0,01$  de letalidade.

Mais um parâmetro importante que é utilizado nas análises é a taxa de crescimento ( $r$ ) do número de novos casos

confirmados e do número de óbitos ou simplesmente taxa de reprodução, sendo obtida através da razão entre o número de casos diários de um determinado dia ( $i$ ) pelo de um dia anterior ( $i-1$ ), conforme equação 7 a seguir. Dessa forma, obtemos os gráficos representados pela Figura 5 a seguir, para o estado do Paraná e Curitiba.

$$r = \frac{I_i}{I_{(i-1)}} \quad (7)$$

**Figura 5.** Taxa de crescimento do número de novos casos confirmados ( $r_c$ ) e do número de óbitos ( $r_o$ ) pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e no (b) município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



Observa-se que no estado do Paraná o pico da taxa de reprodução deu-se com a taxa de óbitos ( $r_o$ ), sendo maiores do que a de novos casos confirmados ( $r_c$ ), entretanto, no município de Curitiba as maiores taxas referem-se ao de novos casos confirmados. Se  $r = 1$  representa uma situação de equilíbrio,

onde o número de casos permanecerá inalterado. O intervalo de variação para Curitiba é  $0,37 \pm 0,7$  ( $r_o$ ) e  $1,05 \pm 1,33$  ( $r_c$ ) e para o Paraná é  $1,32 \pm 1,5$  ( $r_o$ ) e  $1,22 \pm 0,72$  ( $r_c$ ) de reprodução.

Outro parâmetro importante para análise de cenários pandêmicos é o tempo de duplicação ( $t_d$ ) da doença, que indica

o tempo necessário para que os casos de pessoas infectadas confirmadas dobrem em um local. No início das epidemias o número de pessoas infectadas cresce exponencialmente,

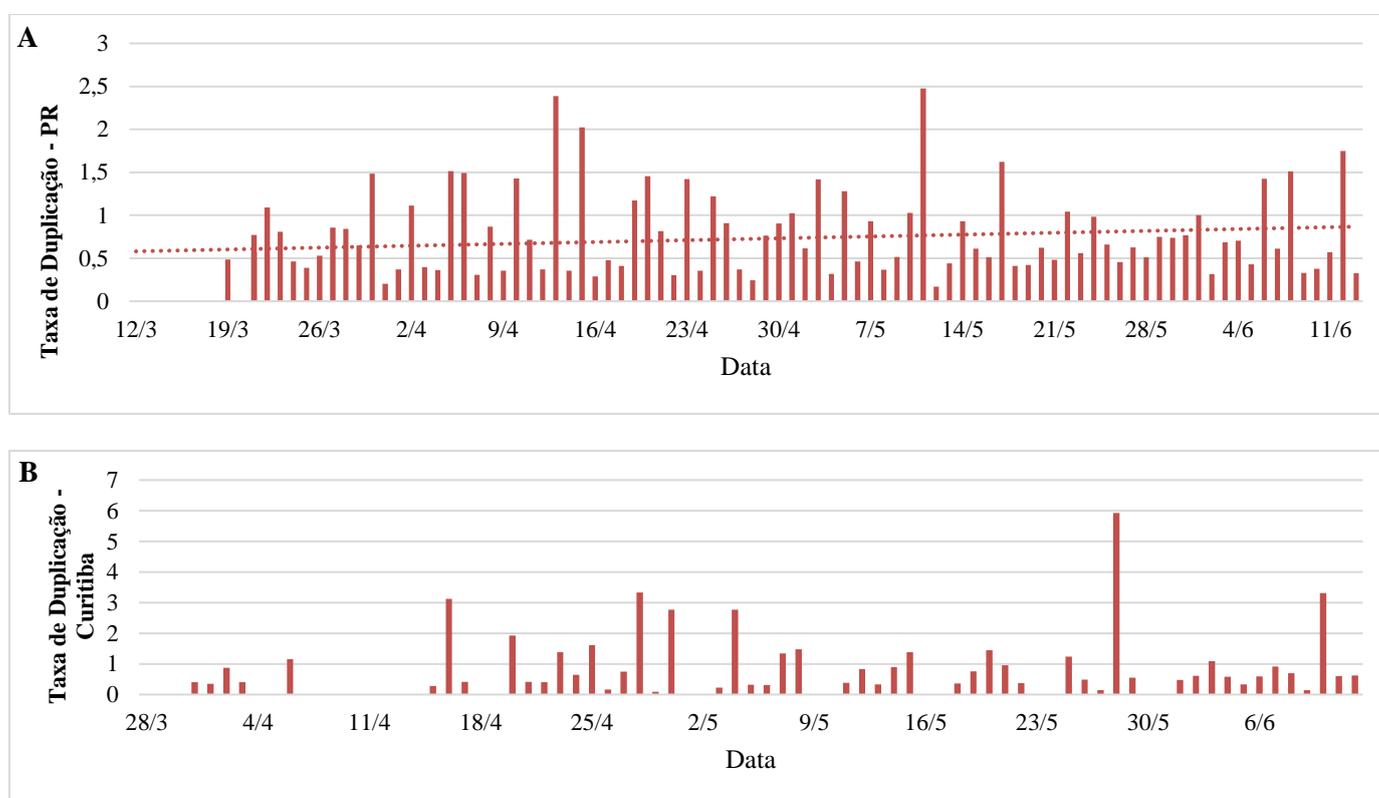
$$td = \frac{\ln(2)}{rc} \quad (8)$$

Como  $td$  é inversamente proporcional a taxa de crescimento dos novos casos confirmados ( $rc$ ), quanto menor  $td$  mais rápida a

significando que o tempo necessário para que o número de casos confirmados duplique é constante, sendo dado pela equação 8.

doença se espalhará. A Figura 6 apresenta esses tempos para o estado do Paraná e Curitiba.

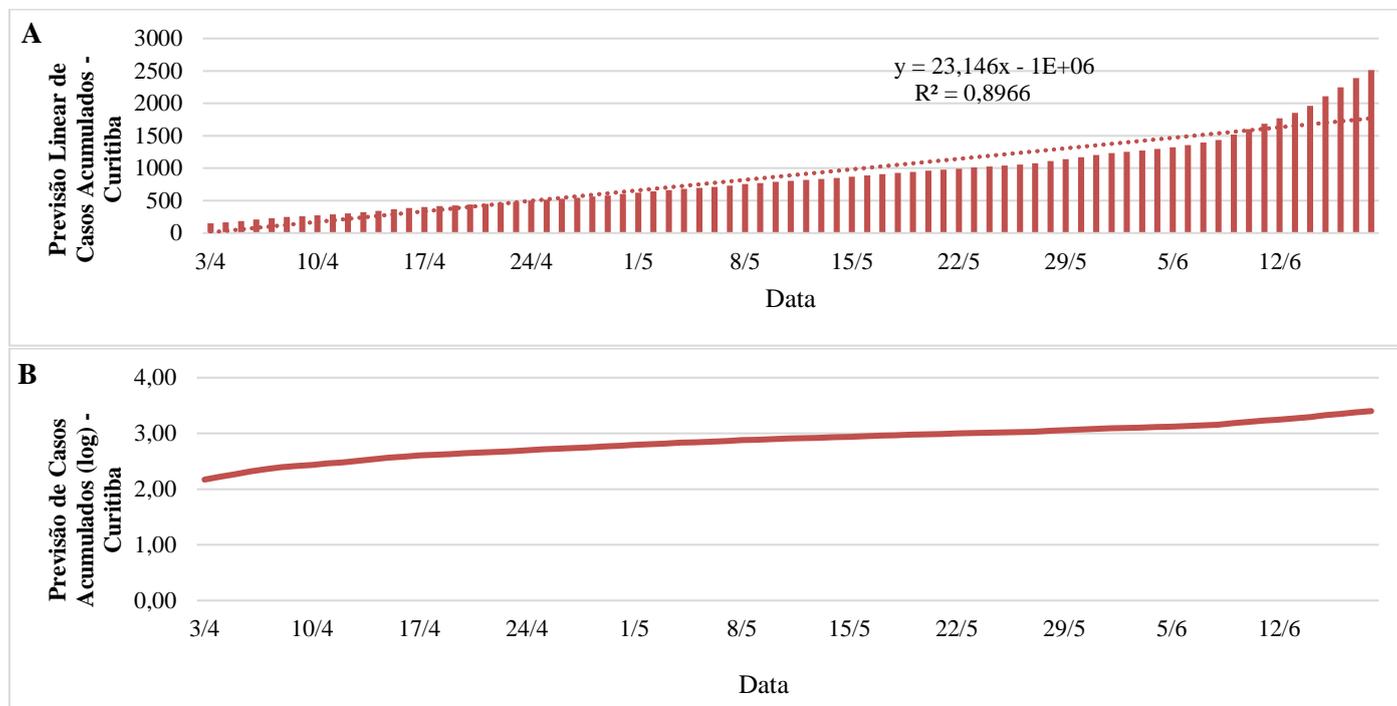
**Figura 6.** Tempo de duplicação de infecção pela Covid-19 no (a) estado do Paraná/Brasil e no (b) município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



Observa-se que nos últimos 15 dias houve um rápido avanço da doença, sendo que o intervalo de variação do  $td$  em Curitiba é  $0,72 \pm 1,02$  e para o Paraná é  $0,78 \pm 0,48$  de tempo de duplicação.

A seguir foi realizada uma estimativa dos casos de pessoas infectadas para o município de Curitiba utilizando a média dos últimos cinco dias dos casos diários confirmados antes do dia 03/04/2020 e projetando os novos casos até o dia 18/06/2020 (OPAS, 2020), conforme apresentado na Figura 7.

**Figura 7.** Previsão (a) linear e (b) logarítmica dos casos acumulados pela Covid-19 no município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



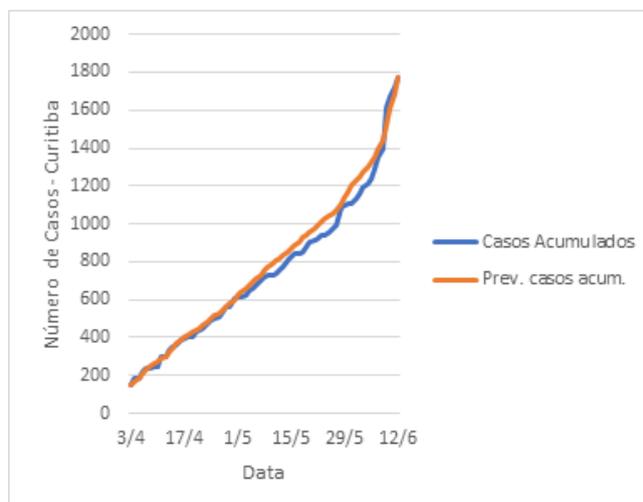
Observa-se um aumento acelerado a partir do dia 08/06/2020, partindo de 1436 casos previstos (1399 confirmados – erro de 2,7%) para 2513, representando um aumento de 75% nos casos previstos ou de 77% nos casos reais, em um intervalo de 10 dias.

O intervalo de variação para Curitiba é  $731,71 \pm 378,79$  de casos previstos, com incerteza na medição do número de casos previstos de 177,0101621, incerteza no valor do coeficiente angular de 0,895724868, incerteza no valor do

coeficiente linear de 40,74055002 e com coeficiente linear de correlação de 0,98592838.

Nesse modelo, verifica-se que o coeficiente angular que representa o parâmetro de infectados previstos equivale a 23,14, representando que a cada dia ocorrerá um aumento corresponde a esse valor no número de casos confirmados, onde o modelo linear explica 89,66% da variância do número dos casos previstos em função do tempo. O comparativo entre os casos confirmados e os previstos é apresentado na Figura 8.

**Figura 8.** Comparativo entre casos confirmados e os previstos pela Covid-19 no município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



Observa-se que com o aumento no número de casos houve um aumento da diferença entre os dados previstos e os

reais. A partir de 09/05/2020 até 07/06/2020 os dados previstos eram maiores do que os reais. Entretanto, a partir de 09/06/2020

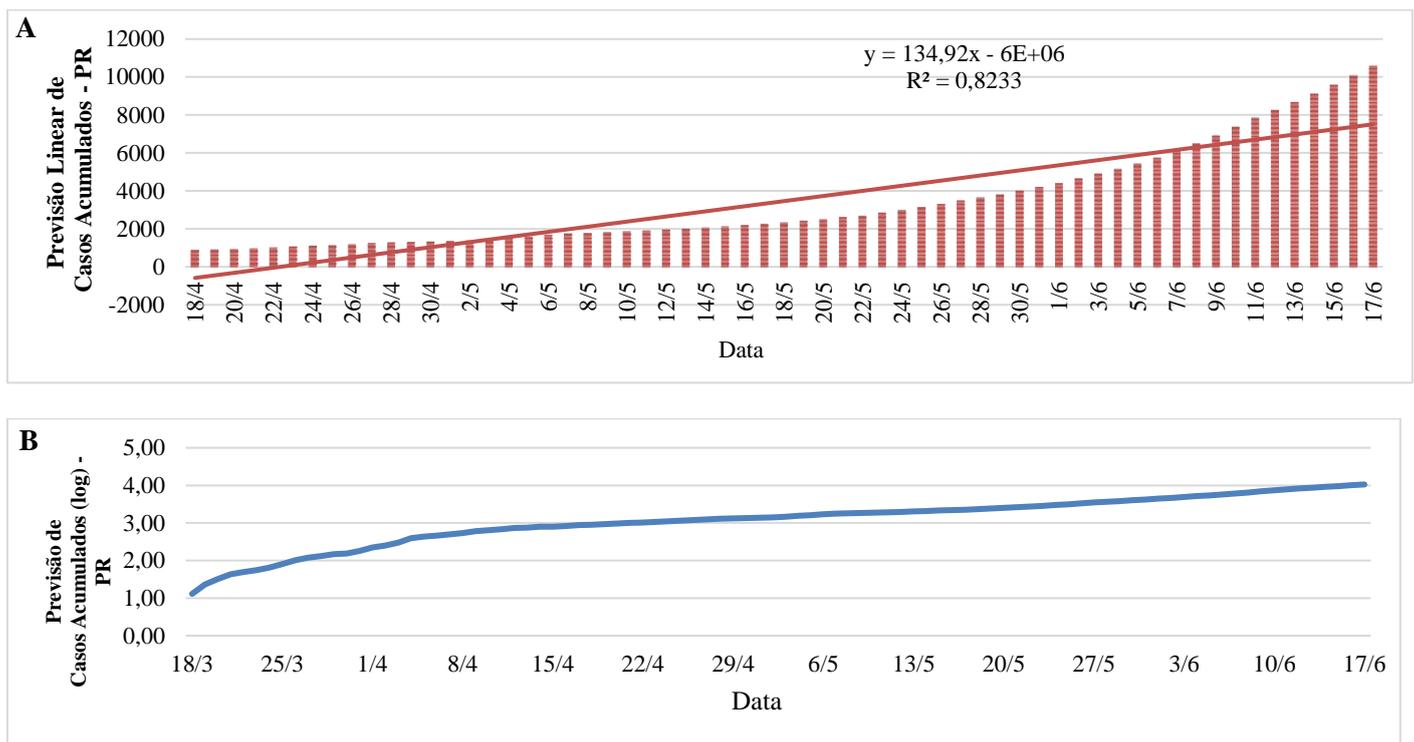
houve uma inversão entre essa tendência.

Essas diferenças possivelmente sejam justificadas pela inclusão dos resultados realizados nas farmácias e nos boletins epidemiológicos, que não estavam previstos no histórico do modelo, assim como o relaxamento do isolamento social ocorrido no município a partir do mês de junho.

Por sua vez, para o estado do Paraná, para a realização

da estimativa dos casos de pessoas infectadas foi utilizado o método da média da taxa de evolução dos casos confirmados dos últimos cinco dias e verificado a evolução dos próximos cinco dias (OPAS, 2020). A projeção iniciou no dia 18/04/2020, sendo projetado os novos casos até o dia 17/06/2020, conforme apresentado na Figura 9.

**Figura 9.** Previsão (a) linear e (b) logarítmica dos casos acumulados pela Covid-19 no estado do Paraná/Brasil, 2020 (autor).



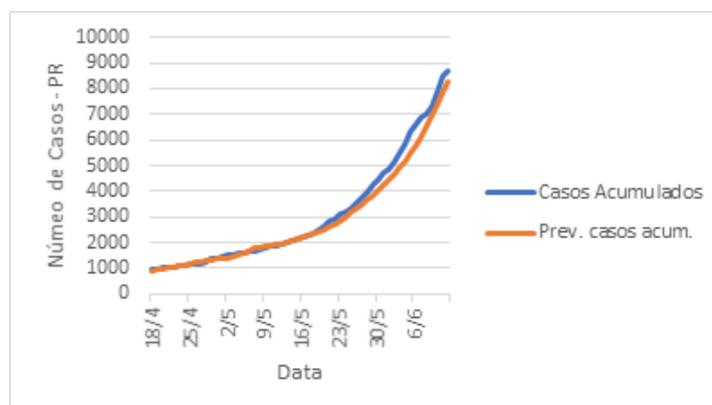
Da mesma forma que observado na análise do município de Curitiba, o estado do Paraná também apresenta um aumento acelerado a partir do dia 08/06/2020, partindo de 6515 casos previstos (7031 confirmados – erro de 7,34%) para 10586, representando um aumento de 62,48% nos casos previstos ou de 50,56% nos casos reais, em um intervalo de 9 dias.

O intervalo de variação para o Paraná é  $3464 \pm 2639,81$  de casos previstos, com incerteza na medição do número de casos previstos de 1344,310759, incerteza no valor do coeficiente angular de 5,562664679, incerteza no valor do

coeficiente linear de 230,964118 e com coeficiente linear de correlação de 0,970139001.

Nesse modelo, verifica-se que o coeficiente angular que representa o parâmetro de infectados previstos equivale a 134,92, representando que a cada dia ocorrerá um aumento correspondente a esse valor no número de casos confirmados, onde o modelo linear explica 82,33% da variância do número dos casos previstos em função do tempo. O comparativo entre os casos confirmados e os previstos é apresentado na Figura 10.

**Figura 10.** Comparativo entre casos confirmados e os previstos pela Covid-19 no estado do Paraná/Brasil, 2020 (autor).



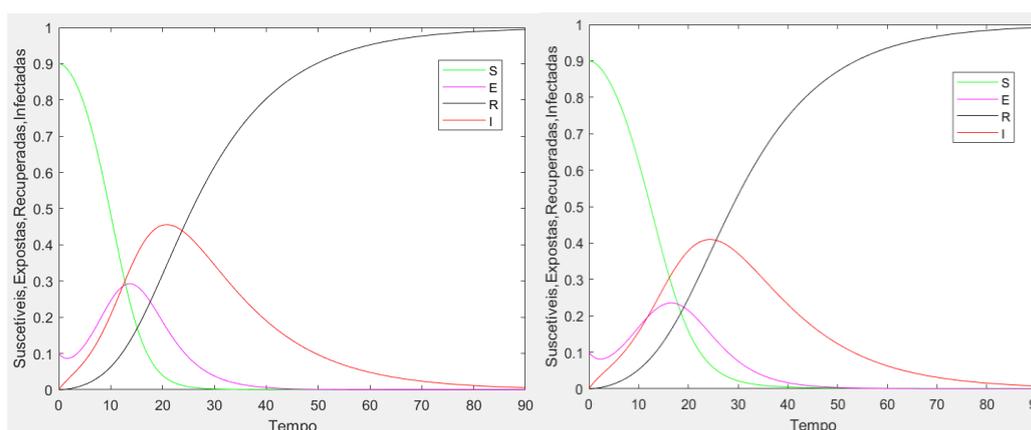
Observa-se que há uma variação entre os dados a partir do dia 21/05/2020, possivelmente em função da inclusão dos resultados realizados nas farmácias da capital paranaense nos boletins epidemiológicos a partir do dia 28/05/2020, assim como, do relaxamento das medidas de isolamento social ocorrido no estado.

A previsão é realizada para um período curto de apenas cinco dias, pois como o crescimento é exponencial as incertezas também crescem exponencialmente. Dessa forma, a incerteza da previsão aumenta em função do tempo. Mesmo que ocorram pequenas mudanças na taxa de crescimento em determinado dia avaliado, estas acarretarão grandes variações nas previsões futuras.

Buscando entender o comportamento da curva de infecção para períodos maiores, foi implementado no software Matlab 2019b um código para gerar as curvas SEIR, a fim de estimar o período que ocorrerá o platô (pico) das infecções no estado do Paraná e no município de Curitiba, assim como uma previsão de término desse período.

Para a implementação no Paraná foram utilizados os dados reais referentes ao dia 01/06/2020,  $I=4835$  e  $\beta=0.7$ , além de  $\sigma=1/5.2$  e  $\gamma=1/14$ ,  $S=90\%$  e  $E=10\%$  como condições iniciais. E para o município de Curitiba, tem-se,  $I=1005$  e  $\beta=0.5$ , além de  $\sigma=1/5.2$  e  $\gamma=1/14$ ,  $S=90\%$  e  $E=10\%$  como condições iniciais, obtendo-se o gráfico da Figura 11.

**Figura 11.** Previsão em função da população dos casos de pessoas suscetíveis, expostas, infectadas e recuperadas pela Covid-19 no estado do Paraná/Brasil e no município de Curitiba/Paraná/Brasil, 2020 (autor).



Por meio dos resultados gerados verifica-se que o pico de infecção no estado do Paraná ocorrerá até o final do mês de junho, com aproximadamente 45% da população infectada e o término do período de infecção ocorreria a partir do mês de setembro. O desvio padrão para o Paraná foi de 0,163083 ou 1.864.681 (I) e 0,37044 ou 4.235.600 (R).

Por meio dos resultados gerados verifica-se que o pico de infecção em Curitiba ocorrerá até a última semana de junho, com aproximadamente 40% da população sendo infectada e o término do período de infecção ocorreria a partir do mês de

setembro. O desvio padrão para Curitiba foi de 0,143838 ou 278.054,6 (I) e 0,374685 ou 724.305,7 (R).

Se a previsão ocorrer o número de pessoas infectadas será maior do que o suportado pelos sistemas de saúde municipal e estadual acarretando a saturação dos sistemas de saúde. É válido ressaltar que conforme boletim epidemiológico nº 79 de 13/06/2020, Curitiba apresenta 74% dos leitos SUS exclusivos para Covid-19 ocupados com pacientes que deram entrada no internamento com sintomas suspeitos de síndromes respiratórias agudas graves e não apenas os casos confirmados de Covid-19

(CURITIBA, 2020).

Em função dessa taxa de ocupação, a prefeitura de Curitiba determinou o fechamento de algumas atividades a partir do dia 15/06/2020, como medida para impedir a disseminação do vírus (CURITIBA, 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados apresentados vimos que há uma forte tendência de aumento no número de novos casos confirmados para os próximos dias no município de Curitiba e no estado do Paraná.

A análise dos dados mostra que os parâmetros de infecção equivalem a 74,33 e 18,24 para o Paraná e Curitiba, respectivamente, representando que a cada dia há um aumento correspondente a esses valores no número de casos confirmados.

Para a análise dos dados futuros, a previsão adotada nesse trabalho para o modelo de curto prazo foi realizada para um período curto de apenas cinco dias, pois como o crescimento é exponencial as incertezas também crescem exponencialmente. O parâmetro de infectados previstos nesse modelo equivale a 134,92 e 23,14 para o Paraná e Curitiba, respectivamente, representando que a cada dia ocorrerá um aumento correspondente a esse valor no número de casos previstos.

Os resultados previstos mostram um aumento de 75% e de 62,48% em novos casos de infecção em Curitiba e no Paraná, entre os dias 8 e 17/06/2020, sendo que o platô de infecção deverá ocorrer até o final do mês de junho, portanto, será necessário o aumento das medidas de isolamento social para não saturar os sistemas de saúde.

O intervalo de variação na previsão de curto prazo para Curitiba é  $731,71 \pm 378,79$  de casos previstos, com incerteza na medição do número de casos previstos de 177,01, incerteza no valor do coeficiente angular de 0,8957, incerteza no valor do

coeficiente linear de 40,7405 e com coeficiente linear de correlação de 0,9859. Já para o Paraná o intervalo é de  $3464 \pm 2639,81$  de casos previstos, com incerteza na medição do número de casos previstos de 1344,31, incerteza no valor do coeficiente angular de 5,5626, incerteza no valor do coeficiente linear de 230,9641 e com coeficiente linear de correlação de 0,97011.

A ampliação dos testes é uma medida necessária para ajudar no diagnóstico dos casos sintomáticos respiratórios na fase inicial da doença, assim como dos casos assintomáticos, a fim de avaliar melhor a distribuição do vírus entre a população, podendo adotar critérios de isolamento das pessoas infectadas e de seus contatos próximos, reduzindo o risco de transmissão do vírus.

Outra medida necessária refere-se a divulgação das informações de forma padronizada, para que não ocorram incertezas na precisão dos resultados. Uma das dificuldades enfrentadas para a realização desse trabalho foi no levantamento dos dados oficiais, uma vez que o Ministério da Saúde divulga os dados consolidados com histórico em forma de planilha, mas os dados não coincidem com os divulgados pelos boletins epidemiológicos divulgados pelas Secretarias Estadual e Municipal. Estas não apresentam os dados consolidados, mas sim, divulgações diárias com os dados do dia anterior.

Como propostas futuras pode-se ampliar o modelo a longo prazo incluindo os casos de óbitos e calculando a taxa de transmissão do vírus com variação da população exposta.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às Secretarias de Saúde de Curitiba e do Paraná pelo fornecimento dos dados necessários para a realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. **COVID-19 - Painel Coronavírus**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 23 mai. 2020a.

\_\_\_\_\_. Fundação Oswaldo Cruz. **Observatório Covid-19**. Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/observatorio-covid-19>>. Acesso em: 23 mai. 2020b.

\_\_\_\_\_. Universidade Federal de Pelotas. **A evolução epidêmica do Covid-19: modelo SIR**. Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática. Pelotas, RS, 2020c.

\_\_\_\_\_. Painel Rede Covida. Boletim Covida. **Pandemia de Covid-19**. Salvador, BA, 2020. Disponível em: <<https://painel.covid19br.org/>>. Acesso em: 23 mai. 2020d.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Curitiba, PR. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

LI, Q., GUAN X., WU P., WANG X., ZHOU L., et al. 2020. **Early Transmission dynamics in Wuhan, China, of Novel**

**Coronavirus-Infected pneumonia**. N. Engl. J. Med. 382, 1199–1207.

OPAS. Organização Pan-americana de Saúde. **Indicadores de Saúde: Elementos Conceituais e Práticos**. Disponível em: <[https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14405:health-indicators-conceptual-and-operational-considerations&Itemid=0&lang=pt](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14405:health-indicators-conceptual-and-operational-considerations&Itemid=0&lang=pt)>. Acesso em: 9 jun. 2020.

PARANÁ. Secretaria de Saúde do Paraná. **Coronavírus: troque a preocupação pela informação**. Curitiba, PR, 2020. Disponível em: <<http://www.saude.pr.gov.br/>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

KERMACK, W., MCKENDRICK, A., 1991. **Contributions to the mathematical theory of epidemics-I**. 1927. *Bulletin of Mathematical Biology* 53 (1-2), 33-55.

WHO. World Health Organization. **Coronavirus disease (COVID-19)**. Genebra, Suíça, 2020. Disponível em: <[https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1)>. Acesso em: 25 mai. 2020