



## **MODELO PREDITIVO DA OCORRÊNCIA DE COVID-19 EM MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE NO BRASIL (PONTA GROSSA- PARANÁ)**

Camila Marinelli Martins<sup>1,2,3</sup> 

Ricardo Zanetti Gomes<sup>1</sup> 

Erido Vicente Muller<sup>2</sup> 

Pollyanna Kássia de Oliveira Borges<sup>2</sup> 

Carlos Eduardo Coradassi<sup>2</sup> 

Eduarda Mirela da Silva Montiel<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Medicina. Ponta Grossa, PR, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Enfermagem e Saúde Pública. Ponta Grossa, PR, Brasil.

<sup>3</sup>AAC&T Consultoria em Pesquisa LTDA. Curitiba, PR, Brasil.

### **RESUMO**

**Objetivo:** obter um modelo preditivo da ocorrência de casos, gravidade e óbitos por COVID-19 em Ponta Grossa-Paraná.

**Métodos:** estudo ecológico com dados de casos confirmados de COVID-19 notificados de 21/03/2020 a 03/05/2020 em Ponta Grossa e proporção de gravidade, hospitalização e letalidade da literatura. Um modelo epidemiológico suscetível-infectado-recuperado (SIR) foi construído e estimadas taxa de reprodução ( $R_0$ ), duração da epidemia, data do pico, número de casos, hospitalizações e óbitos. Estas últimas por faixa etária e em três cenários: aos 24 dias, aos 34 dias e aos 44 dias de epidemia.

**Resultados:** nos três cenários avaliados, a variação no número de casos foi explicada por uma curva exponencial ( $r^2=0,74,0,79$  e  $0,89$ , respectivamente e  $p<0,0001$  em todos). O modelo SIR estimou que, no melhor cenário, o pico ocorrerá em torno de 120 dias após o primeiro caso (entre 11/07/2020 e 25/07/2020), o  $R_0$  estimado será 1,07 e chegará a 0,23% dos habitantes infectados. No pior cenário, o pico estimado será de 4375 (IC 95% 4156-4594) casos e 825 (IC 95% 700-950) no melhor cenário. O maior número estimado de casos e hospitalizações será na faixa entre 20 e 39 anos, o número de óbitos será maior entre idosos e mais acentuado entre  $\geq 80$  anos.

**Conclusão:** este é o primeiro estudo com projeções para a COVID-19 em um município fora das grandes capitais e mostrou que o pico será tardio, portanto, o município terá mais tempo de preparo e que medidas protetivas podem reduzir o número simultâneo de casos.

**DESCRITORES:** Previsão. Epidemia. Número reprodutivo basal. Coronavírus. SARS-CoV-2. Letalidade. Hospitalização.

**COMO CITAR:** Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE, Montiel EMS. Modelo preditivo da ocorrência de COVID-19 em município de médio porte no Brasil (Ponta Grossa-Paraná). Texto Contexto Enferm [Internet]. 2020 [acesso MÊS ANO DIA]; 29:e20200154. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2020-0154>

# PREDICTIVE MODEL FOR COVID-19 INCIDENCE IN A MEDIUM-SIZED MUNICIPALITY IN BRAZIL (PONTA GROSSA, PARANÁ)

## ABSTRACT

**Objective:** to produce a predictive model for the incidence of COVID-19 cases, severity and deaths in Ponta Grossa, state of Paraná.

**Methods:** this is an ecological study with data from confirmed cases of COVID-19 reported between March 21, 2020 and May 3, 2020 in Ponta Grossa and proportion of severity, hospitalization and lethality in the literature. A susceptible-infected-recovered (SIR) epidemic model was developed, and reproduction rate ( $R_0$ ), duration of epidemic, peak period, number of cases, hospitalized patients and deaths were estimated. Deaths were calculated by age group and in three scenarios: at day 24, at day 34, and at day 44 of the epidemic.

**Results:** in the three scenarios assessed in this study, the variation in the number of cases was explained by an exponential curve ( $r^2=0.74, 0.79$  and  $0.89$ , respectively,  $p<0.0001$  in all scenarios). The SIR model estimated that, in the best scenario, the peak period will be around 120 days after the first case (between July 11, 2020 and July 25, 2020), estimated  $R_0$  will be 1.07 and will infect 0.23% of the population. In the worst scenario, peak period will involve 4,375 (95% CI; 4156-4594) cases and 825 (95% CI; 700-950) cases in the best scenario. Most cases and hospital admissions will involve patients aged 20 to 39 years, the number of deaths will be higher among the elderly and more pronounced among patients aged  $\geq 80$  years.

**Conclusion:** this is the first study that provides COVID-19 projections for a municipality that is not a large capital. It shows a peak period at a later moment; therefore, the municipality will have more time to prepare and adopt protective measures to reduce the number of simultaneous cases.

**DESCRIPTORS:** Estimate. Epidemics. Basic reproduction number. Coronavirus. SARS-CoV-2. Mortality. Hospitalization.

## MODELO PREDICTIVO DE LA OCURRENCIA DE COVID-19 EN UN MUNICIPIO DE TAMAÑO MEDIO EN BRASIL (PONTA GROSSA-PARANÁ)

### RESUMEN

**Objetivo:** obtener un modelo predictivo para la ocurrencia de casos, severidad y muertes por COVID-19 en Ponta Grossa-Paraná.

**Métodos:** estudio ecológico con datos de casos confirmados de COVID-19 notificados del 21/03/2020 al 3/3/2020 en Ponta Grossa y proporción de severidad, hospitalización y letalidad en la literatura. Se construyó un modelo epidemiológico (SIR) infectado-recuperado susceptible y tasa de reproducción estimada ( $R_0$ ), duración de la epidemia, fecha pico, número de casos, hospitalizaciones y muertes. Este último por grupo de edad y en tres escenarios: a los 24 días, a los 34 días y a los 44 días de epidemia.

**Resultados:** en los tres escenarios evaluados, la variación en el número de casos se explicó por una curva exponencial ( $r^2 = 0.74, 0.79$  y  $0.89$ , respectivamente y  $p < 0.0001$  en total). El modelo SIR estimó que, en el mejor escenario, el pico ocurrirá alrededor de 120 días después del primer caso (entre el 7/11/2020 y el 25/7/2020), el  $R_0$  estimado será de 1.07 y alcanzará 0.23 % de habitantes infectados. En el peor de los casos, el pico estimado será de 4375 (IC del 95%: 4156-4594) y 825 (IC del 95%: 700-950) en el mejor de los casos. El mayor número estimado de casos y hospitalizaciones estará en el rango entre 20 y 39 años, el número de muertes será mayor entre los ancianos y más pronunciado entre  $\geq 80$  años.

**Conclusión:** este es el primer estudio con proyecciones para COVID-19 en un municipio fuera de las grandes capitales y demostró que el pico llegará tarde, por lo tanto, el municipio tendrá más tiempo de preparación y que las medidas de protección pueden reducir el número simultáneo de casos.

**DESCRIPTORES:** Estimación. Epidemias Número reproductivo basal. Coronavirus. SARS-CoV-2. Letalidad. Hospitalización.

## INTRODUÇÃO

No ano de 2020 foi descrita uma síndrome respiratória com características diferentes das síndromes anteriormente diagnosticadas (SARS-CoV, MERS-CoV), e constatou-se que o microrganismo causador dessa síndrome era um novo agente inicialmente denominado de 2019-nCoV. Ele provoca uma doença respiratória de maior gravidade em populações denominadas de risco, tais como adultos acima de 60 anos e pessoas com comorbidades.<sup>1-2</sup> O vírus foi identificado pela primeira vez em Wuhan, na província de Hubei, China, em indivíduos expostos em um mercado de comercialização de animais vivos e frutos do mar. Autoridades sanitárias da China comunicaram aumento rápido do número de casos confirmados e muitas mortes atribuídas a esta nova doença, então denominada COVID-19. A partir do início da doença na China, rapidamente começaram a ser identificados casos em outros países.<sup>3</sup>

Em 11 de março de 2020 foi declarada pandemia pelo novo coronavírus pela Organização Mundial da Saúde (OMS).<sup>4</sup> A Universidade Johns Hopkins relatou até o dia 24 de abril de 2020 o total de 2.744.511 casos acumulados e 192.982 óbitos pelo COVID-19 no mundo,<sup>5</sup> a taxa de letalidade estimada variava de 1,18% na Alemanha e até 12,07 na Itália.<sup>6</sup>

No Brasil, até o dia 23 de abril de 2020 havia um total de 49.492 casos acumulados, com letalidade de 6,7% para qualquer faixa etária. Todas as regiões do país apresentam casos e mortes pela COVID-19, porém observa-se distribuição, comportamento e mortalidades diferentes nas diversas regiões brasileiras, com maior número de casos e óbitos nas Regiões Sudeste e Nordeste respectivamente. A Região Sul do país, apresentava até o mesmo momento, o segundo menor número de casos de COVID-19, atrás da Região Centro-Oeste.<sup>7</sup> O Paraná apresentava 1.082 casos confirmados e letalidade de 5,5% na mesma data.<sup>8</sup>

Para o controle da pandemia, o Brasil adotou medidas de isolamento social gradual, não simultâneo entre os estados, além de fechamento de fronteiras, investimentos em saúde pública, infraestrutura em saúde, contrato de novos profissionais da área, dentre outros. Entretanto, tais medidas foram tomadas de forma generalizada no âmbito nacional, sem levar em consideração especificidades e estruturas locais de estados e municípios.<sup>9</sup>

Para o Brasil em geral e grandes centros como São Paulo e Rio de Janeiro, existem estudos com modelos preditivos auxiliando os serviços de saúde no preparo das ações de enfrentamento.<sup>5,10-11</sup> Para municípios de pequeno e médio porte, não há estudos mostrando estimativas de tempo e intensidade da ocorrência da epidemia. Dada a necessidade de implementação de medidas para contenção da dispersão do vírus, bem como, a aquisição de infraestrutura para o atendimento aos pacientes necessitados, o presente estudo teve como objetivo obter um modelo preditivo da ocorrência de casos, gravidade e óbitos por COVID-19 para 2020 em um município de médio porte, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

## MÉTODO

### Desenho do estudo

Trata-se de um estudo ecológico em que os dados utilizados são de acesso público em plataformas digitais governamentais (conforme descrito a seguir) sem o uso direto de seres humanos ou animais, portanto, dispensa a necessidade de avaliação por comitê de ética em pesquisa. Uma curva epidêmica com modelo epidemiológico foi construída e as premissas, métodos e cenários avaliados estão descritos com detalhes a seguir.

## Fontes de dados e variáveis do estudo

Foram utilizados os casos confirmados de COVID-19 no município de Ponta Grossa dia-após-dia desde 21/03/2020 (data do registro do primeiro caso) até 03/05/2020, obtidos junto às divulgações oficiais de acesso público da Secretaria de Estado da Saúde do Paraná,<sup>8</sup> cuja definição de caso confirmado adotada era resultado positivo laboratorial em RT-PCR, ou por critério clínico-epidemiológico, contato próximo domiciliar de caso confirmado laboratorial, com febre e/ou qualquer sintoma respiratório, dentro de 14 dias após o último contato com o paciente e para o qual não foi possível a investigação laboratorial específica.<sup>12</sup> Sendo, portanto, utilizados os 24 primeiros dias da epidemia como *input* primário do modelo SIR (suspeito-infectado-recuperado) descrito abaixo. A população de Ponta Grossa utilizada foi de 352.749 habitantes.<sup>13</sup>

Além disso, foram utilizados: 1,2% de assintomáticos, 80,3% de casos leves e moderados, 13,8% de casos graves e 4,7% de casos críticos segundo estudo descritivo sobre os casos da COVID-19 na China publicado pelo centro de controle de doenças (CDC) deste país. Dado que este é o território do início da epidemia onde os primeiros estudos epidemiológicos sobre o tema foram publicados e que a fonte é o CDC local, considerou-se este como um dado confiável.<sup>3</sup> Para o percentual de infectados, hospitalização e óbito em cada faixa etária, foi realizada uma intensa busca na literatura e diversas pesquisas foram combinadas para obtenção dos parâmetros. Estes referenciais e outros encontram-se apresentados com detalhes no Material Suplementar 1.

## MÉTODOS ESTATÍSTICOS: MODELO EPIDEMIOLÓGICO SIR (SUSCETÍVEL-INFECTADO-RECUPERADO)

O modelo utilizado foi desenvolvido por Kermack e McKendrick em 1927 e consiste em explicar o comportamento de uma epidemia dividindo uma população em 3 grupos: suscetíveis (S), Infectados (I) e recuperados (R) e, a partir daí o modelo busca resolver o sistema de equações diferenciais:<sup>14</sup>

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta \frac{I}{N} S \\ \frac{dI}{dt} &= \beta \frac{I}{N} S - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}$$

Onde,

N= população de Ponta Grossa 2020<sup>13</sup>

S= número de suscetíveis (assumiu-se que toda a população poderia ser suscetível no início da epidemia)

I= número de infectados

R= número de recuperados

$\beta$ = coeficiente de contágio

$\gamma$ = coeficiente de recuperação

t = tempo em dias

Os coeficientes de contágio e de recuperação foram obtidos ajustando aos dados (*input*) e por um processo de minimizando da soma dos quadrados (SQ) da diferença entre o número absoluto de infectados e o número de infectados ajustado a partir do sistema de equações diferenciais demonstrado

acima. A obtenção final de  $\beta$  e  $\gamma$  ocorreu por um processo de otimização iterativo a partir do método desenvolvido por Byrd e colaboradores<sup>16</sup> que permite restrições sobre o domínio paramétrico dos dados. Esta análise é mais robusta para problemas de otimização não lineares do que simulações de Monte Carlo, por exemplo. Ao final, obteve-se a taxa de reprodução ( $R_0$ ) que é a estimativa do número de pessoas contaminadas por uma pessoa infectada. Desta forma, geraram-se as curvas de SIR do início ao final da epidemia, a estimativa de duração da epidemia, estimativa de data de ocorrência do pico, a curva da estimativa do número de casos ao longo do tempo e o percentual de infectados no pico de casos.

Foram simulados três cenários para estimativa das curvas de casos esperados:

Cenário 1: estimativa da curva a partir de dados reais dos primeiros 24 dias  
(21/03/2020 a 13/04/2020)

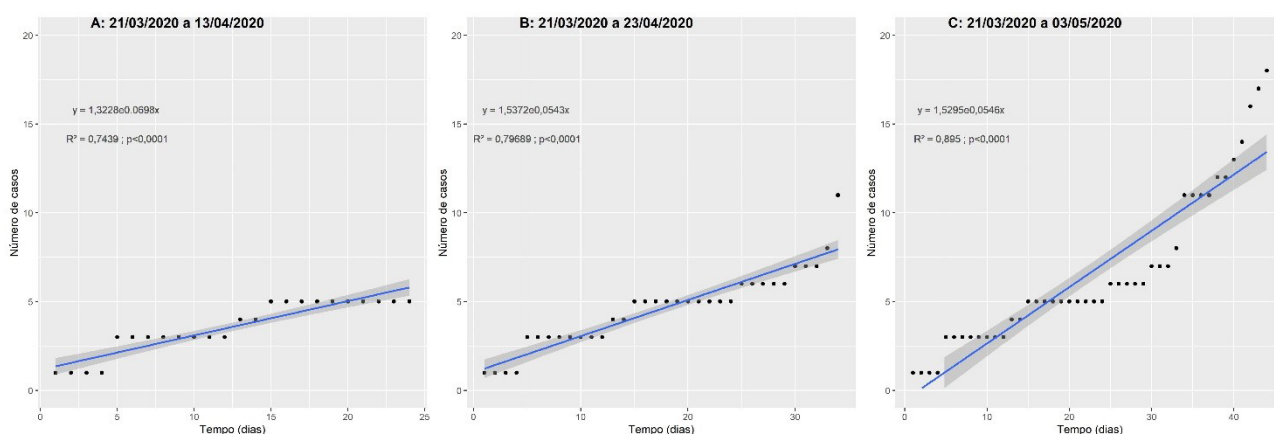
Cenário 2: estimativa da curva a partir dos dados reais dos primeiros 34 dias  
(21/03/2020 a 23/04/2020)

Cenário 3: estimativa da curva a partir dos dados reais dos primeiros 44 dias  
(21/03/2020 a 03/05/2020)

Todas as análises estatísticas foram realizadas pelos autores do estudo no ambiente R.<sup>15</sup>

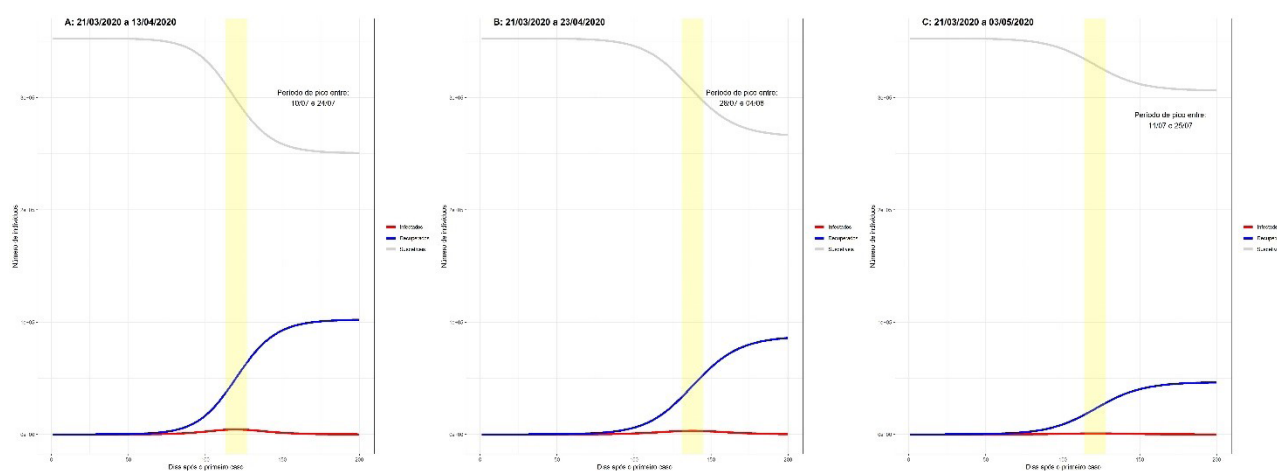
## RESULTADOS

O número real de casos do município nos primeiros 24 dias desde o primeiro caso em 21/03/2020 foi de 5 casos, caracterizando uma incidência cumulativa no período de 1,42 casos a cada 100.000 habitantes. A dispersão dos casos ao longo do tempo e a estimativa da curva nos primeiros 24, 34 e 44 dias estão apresentados na Figura 1A, 1B e 1C, respectivamente. A curva que melhor explicou a variação de dados nos três cenários foram curvas exponenciais com  $r^2=0,74$  ( $p<0,0001$ ),  $r^2=0,79$  ( $p<0,0001$ ) e  $r^2=0,89$  ( $p<0,0001$ ), respectivamente. A variação dos cenários mostrou que a curva está em crescimento e que o ângulo de crescimento decaiu ao longo do período. O coeficiente começou em 0,069 e terminou em 0,054. Ou seja, a velocidade nos primeiros dias foi mais acentuada do que a velocidade no período todo.



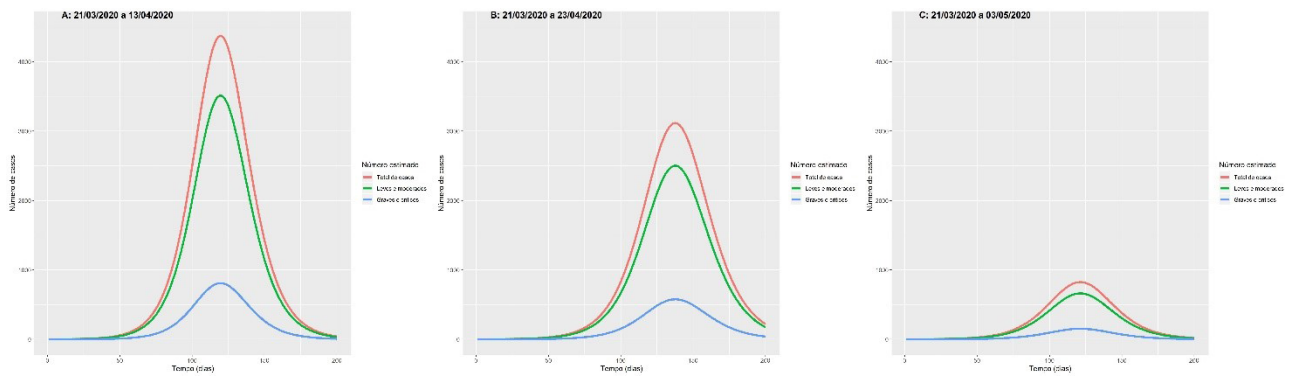
**Figura 1** – Curvas de casos reais nos primeiros 24, 34 e 44 dias de epidemia (dia 0 = 21/03/2020) de COVID-19 no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2020.

Com os primeiros 24 dias da doença e a população do município, um modelo SIR foi construído (Figura 2A). O gráfico da Figura 2A inicia no dia 1 (21/03/2020) com a população suscetível no dia da notificação do primeiro caso ( $N - 1$ ), número de infectados = 1 e número de recuperados = 0. À medida em que os dias passam, ocorreria a flutuação entre suscetíveis, infectados e recuperados chegando ao pico em torno de 120 dias após o primeiro caso, ou seja, entre 10/07/2020 e 24/07/2020 e ao equilíbrio depois de cerca de 170 dias restando zero infectados e o  $N =$  recuperados + suscetíveis. Ao final do período, a taxa de reprodução ( $R_0$ ) do município seria de 1,18 e no pico chegaria a ter aproximadamente 1,24% dos habitantes infectados. Na figura 2B e 2C, estão apresentados os modelos SIR gerados da mesma forma com os 34 e 44 primeiros dias como inputs. A taxa de reprodução seria de 1,14 e 1,07 respectivamente e chegaria a 0,88% e 0,23% da população infectada no pico. Nota-se então, que, dado que o crescimento exponencial real de casos aos 44 dias foi mais lento do que nos primeiros 24 dias, também teve reflexo nas estimativas do modelo SIR.



**Figura 2** – Estimativas geradas pelo modelo SIR (S=suscetíveis, I=infectados e R=recuperados) para 200 dias de epidemia tendo como *inputs* casos reais nos primeiros 24, 34 e 44 dias de epidemia (dia 0 = 21/03/2020) de COVID-19 no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2020.

Na figura 3 estão apresentadas as estimativas das simulações dos três cenários de *inputs* quanto ao número de casos total, leves e moderados e graves e críticos. O cenário com *input* dos primeiros 24 dias apresentou-se como o pior cenário com estimativa de número de infectados no pico de 4375 (5% a menos correspondendo a 4156 e 5% a mais correspondendo a 4594), sendo 3513 ( $\pm 5\%$  3338-3689) leves e moderados e 809 ( $\pm 5\%$  769-850) graves e críticos. O cenário com *input* de 34 dias mostrou-se como um cenário intermediário com estimativa de número de infectados no pico de 3117 ( $\pm 5\%$  2961-3273), sendo 2503 ( $\pm 5\%$  2378-2628) leves e moderados, 577 ( $\pm 5\%$  548-605) graves e críticos. O cenário com *input* de 44 dias mostrou-se o melhor cenário com estimativa de número de infectados no pico de 825 ( $\pm 5\%$  783-866), sendo 662 ( $\pm 5\%$  629-695) leves e moderados, 153 ( $\pm 5\%$  145-160) graves e críticos. Desta forma, destacou-se que com o passar dos primeiros 44 dias da epidemia a velocidade decaiu em relação ao estimado no início da epidemia.



**Figura 3** – Gráficos das estimativas vindas do modelo SIR para o número de casos de COVID-19, sendo o número total de casos (curva vermelha), número de casos leves e moderados (curva verde) e graves e críticos (curva azul) nos três cenários: tendo como *inputs* casos reais nos primeiros 24, 34 e 44 dias de epidemia (dia 0 = 21/03/2020) de COVID-19 no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2020.

Em todos os cenários estimados segundo as faixas etárias (Tabela 1), o maior número de casos e de hospitalizações por COVID-19 serão contabilizados nas faixas etárias de 20-29 e 30-39 anos. No entanto, o número absoluto de óbitos estimado se apresentará maior entre os idosos. No entanto, os óbitos entre os longevos ( $\geq 80$  anos), em todos os cenários, será maior que o número de óbitos da faixa etária dos 40 anos, e pelo menos duas vezes a mais quando comparados aos sujeitos da faixa etária entre 70 e 79 anos.

**Tabela 1** – Número estimado de casos de COVID-19 no pico em cada faixa etária e intervalo de confiança de 95% (IC 95%) nos três cenários: tendo como *inputs* casos reais nos primeiros 24, 34 e 44 dias de epidemia (dia 0 = 21/03/2020) de COVID-19 no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2020.

Faixas etárias	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0-9	13 (0-27)	9 (0-19)	2 (0-5)
10-19	80 (44-116)	57 (32-83)	15 (8-22)
20-29	1039 (925-1152)	740 (659-821)	196 (174-217)
30-39	1140 (1023-1257)	812 (729-896)	215 (193-237)
40-49	688 (591-785)	490 (421-560)	130 (111-148)
50-59	507 (421-592)	361 (300-422)	96 (79-112)
60-69	401 (324-478)	286 (231-341)	76 (61-90)
70-79	287 (221-353)	205 (158-252)	54 (42-67)
$\geq 80$	220 (161-278)	156 (115-198)	41 (30-52)
<b>Total: casos</b>	<b>4375 (3713-5039)</b>	<b>3117 (2645-3590)</b>	<b>825 (700-950)</b>
0-9	4 (0-8)	3 (0-6)	1 (0-2)
10-19	24 (13-35)	17 (10-25)	5 (3-7)
20-29	312 (278-346)	222 (198-246)	59 (52-65)
30-39	342 (307-377)	244 (219-269)	64 (58-71)
40-49	207 (177-236)	147 (126-168)	39 (33-44)
50-59	152 (126-178)	108 (90-127)	29 (24-33)
60-69	120 (97-143)	86 (69-102)	23 (18-27)
70-79	86 (66-106)	61 (47-75)	16 (13-20)
$\geq 80$	66 (48-83)	47 (35-59)	12 (9-16)

Tabela 1 – Cont.

Faixas etárias	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Total: hosp</b>	<b>1313 (1114-1512)</b>	<b>935 (794-1077)</b>	<b>247 (210-285)</b>
0-9	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)
10-19	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)
20-29	1 (0-4)	1 (0-3)	0 (0-1)
30-39	3 (1-4)	2 (1-3)	1 (0-1)
40-49	3 (2-3)	2 (2-2)	1 (0-1)
50-59	6 (4-8)	4 (3-6)	1 (1-2)
60-69	14 (14-15)	10 (10-11)	3 (3-3)
70-79	16 (8-47)	11 (5-34)	3 (1-9)
≥ 80	36 (19-53)	26 (14-38)	7 (4-10)
<b>Total: óbitos</b>	<b>80 (49-136)</b>	<b>57 (35-97)</b>	<b>15 (9-26)</b>

## DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo caracterizando as projeções para a COVID-19 em um município fora das grandes capitais do Brasil. As características do município de Ponta Grossa se aproximam da realidade de muitos outros, portanto, a metodologia aqui empregada pode ser adaptada e extrapolada para esses locais. O município tem 352.749 habitantes e uma área de 2.055 km<sup>2</sup>, caracterizando uma densidade demográfica de 171,6 hab/km<sup>2</sup> e o coloca em quarto no *ranking* em número de habitantes no Paraná.<sup>13</sup> O IBGE caracteriza como médio porte aqueles municípios cuja estimativa de população fique entre 100 e 500 mil habitantes, portanto, inclui o município do presente estudo e outros 276 do Brasil, sendo o 22º do Paraná.<sup>17</sup>

Em termos de número de casos e incidência cumulativa, Ponta Grossa esteve abaixo de Curitiba e de São Paulo, onde aos 24 dias, a incidência foi de 5,89 e 8,89 casos/100.000 habitantes, respectivamente, e semelhante ao estado do Paraná como um todo, onde a incidência era de 2,52 casos/100.000 habitantes no mesmo período.<sup>8,10</sup> Este resultado evidenciou a necessidade de estimativas diferenciadas, proporcionais e que levem em consideração as características de municípios fora dos grandes centros.

Apesar de o número de casos e incidência cumulativa baixos produzirem a sensação para a população em geral de que o comportamento geral da doença será de menor grandeza no município, a aproximação proporcional à curva exponencial em todos os cenários dá indicativos de que, apesar das especificidades, o comportamento da variação de casos será próximo do que vem ocorrendo em outras realidades. O comportamento da primeira fase da epidemia com o crescimento exponencial também foi encontrado em diversos outros locais no Brasil e no mundo.<sup>5,15,18–20</sup>

A estimativa do pico de casos depois de, aproximadamente, 120 dias em todos os cenários pode ser indicativo de que o município terá mais tempo para preparar-se para o enfrentamento da doença do que outros municípios e que as medidas adotadas dentro dos primeiros 44 dias podem ter atrasado a ocorrência do mesmo. Na China, o pico de casos ocorreu aproximadamente 90 dias depois do primeiro registro.<sup>21</sup> Para o Brasil, um estudo utilizando o mesmo modelo SIR do presente estudo estimou que no estado de São Paulo, o pico seria em aproximadamente 70 dias, e em Minas Gerais e no Rio de Janeiro, aproximadamente 60 dias.<sup>11</sup> Logo, as grandes cidades poderão estar em declínio da curva epidêmica, quando municípios de médio porte, como o estudado nesta pesquisa, terão elevação de casos, hospitalizações e óbitos.

Paralelo à oportunidade que esses municípios terão de preparo para atender os casos e suas complicações, haverá o ônus do crescimento da incidência da COVID-19 concomitante às infecções



respiratórias comunitárias que ciclicamente aparecem na estação de inverno. De outro modo, os serviços regionais que ofertam atenção à saúde aos casos mais graves, incluindo COVID-19 e demais complicações de infecções respiratórias, em geral se localizam nos municípios de médio porte. Assim, se os cenários previstos se confirmarem, sendo o melhor ou não, coincidirão com situações que todos os anos inflam os serviços de saúde nesses locais. Neste caso, é de grande importância a vigilância não somente para a COVID-19, mas que sejam mantidos todos os esforços de prevenção e planejamento para dar respostas suficientes ao que se tem como previsão para os meses futuros.

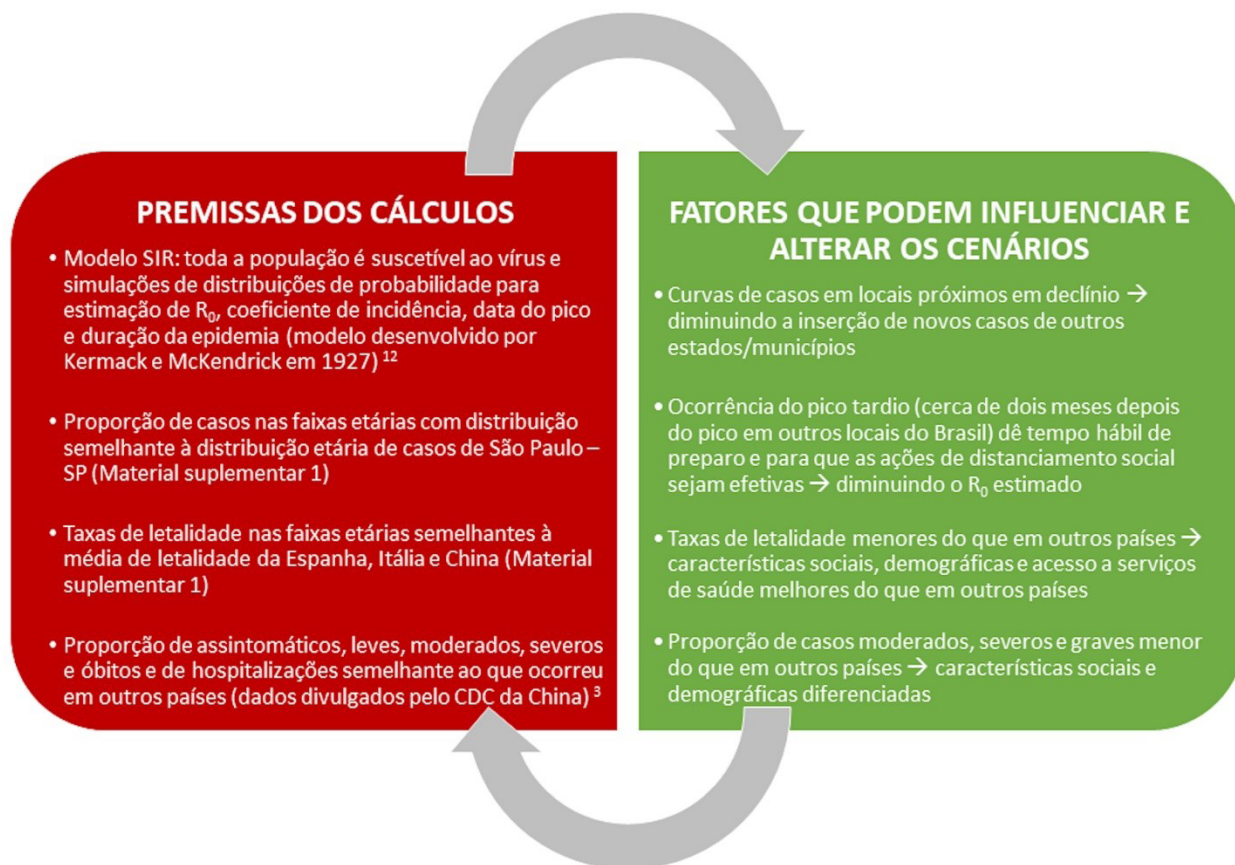
As taxas de reprodução ( $R_0$ ) de 1,18, 1,14 e 1,07 foram abaixo da estimada por outros estudos internacionais e nacionais. Em um dos estudos publicado pelo comitê de resposta do Imperial College de Londres com previsões de ocorrência da COVID-19 para diversos países, incluindo o Brasil, o  $R_0$  previsto variou de 2,5 na Dinamarca a 4,8 na Espanha.<sup>22</sup> Para o Brasil, as estimativas variaram de 1,4 no Rio de Janeiro a 2,6 no Ceará. O valor obtido em Ponta Grossa teve reflexo também na proporção final de infectados de 1,24% que para outros estados variou de 5,23% no Rio Grande do Sul a 20,5% no Ceará.<sup>11</sup>

Além disso, o achatamento da curva ao longo do tempo pode estar relacionado ao aumento de pessoas infectadas, recuperadas ou imunes, tendência já evidenciada em outras infecções virais. Ou seja, à medida em que a epidemia aumenta e mais pessoas adoecem e se recuperam, o  $R_0$  tende a diminuir.

Ao analisar o comportamento da estimativa dos dados e das simulações com redução no pico, o foco está em prever a maior necessidade hospitalar para o período e a diminuição dos óbitos. Contudo, deve-se considerar o protocolo inicial do Ministério da Saúde do Brasil, em que apenas casos hospitalizados eram testados.<sup>23</sup> Tendo isso em vista, o número de casos confirmados representaria apenas 30% dos reais infectados, conforme demonstrado em outro estudo.<sup>24</sup>

O presente estudo tem por limitações que as estimativas foram baseadas em um modelo epidemiológico tradicional (SIR) simplificado, tendo como pressuposto o comportamento de casos nos primeiros dias e a população estimada do município. Além disso, as estimativas de cenários foram realizadas tendo como parâmetros de proporção de leves, moderados, graves, críticos, hospitalização e óbitos presentes na literatura até o momento da publicação. Uma revisão sistemática com análise crítica dos modelos preditivos para COVID-19 publicados entre janeiro e março de 2020 analisou os resultados de 10 modelos preditivos para progressão e mortalidade. Este estudo evidenciou como principais fatores para a ocorrência de viés nas estimativas a ausência de demonstração das equações, descrição incompleta de pressupostos e exclusão inadequada de parcelas da população.<sup>24</sup> No presente estudo, as equações utilizadas foram demonstradas de forma resumida na seção de material e métodos e completa nas referências utilizadas, todos os parâmetros das simulações estão apresentados no material suplementar 1 e não foi excluída nenhuma parcela da população para as estimativas. Entretanto, apesar de considerar as limitações e probabilidade de viés nas estimativas aqui expostas, consideramos este estudo torna-se relevante pela aproximação (não exata) a uma realidade que pode ser a realidade vivenciada por outros municípios do Brasil.

Para elucidar as hipóteses de mudanças dos cenários apresentados, a Figura 4 contém as premissas utilizadas nos cálculos do presente estudo e um resumo ilustrativo das hipóteses levantadas para que os cenários sejam alterados. A discussão dos efeitos de medidas protetivas e também o seu impacto na atual pandemia no Brasil também foi discutido em uma pesquisa documental publicada recentemente em que mostrou a evolução das curvas do Brasil e de outros países com e sem medidas protetivas.<sup>25</sup>



**Figura 4** – Resumo das premissas utilizadas nos cálculos dos modelos preditivos para ocorrência de COVID-19 e as hipóteses de fatores que poderiam influenciar e alterar os cenários previstos para Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

## CONCLUSÕES

A incidência cumulativa de casos de COVID-19 em Ponta Grossa nos primeiros 44 dias da doença foi menor do que nos grandes centros e, apesar disso, o crescimento pode ser explicado por uma curva exponencial tal qual outros locais. O pico de casos ocorrerá aproximadamente 120 dias após o primeiro caso e quase quatro meses depois do início da epidemia no Brasil. Ao final do período, o  $R_0$  do município será de 1,07, também abaixo de outros locais do mundo e no pico chegará a ter aproximadamente 0,23% dos habitantes infectados.

As reduções de casos por medidas protetivas podem reduzir a carga simultânea de atendimento a pacientes graves e críticos, porém, o modelo leva em consideração uma série de premissas que, ao haver mudanças, pode haver variação dos cenários estimados. De qualquer modo, o estudo mostrou que o município terá mais tempo para preparar-se e implantar suas ações de enfrentamento e isso pode ser aplicado a outros municípios de mesmo porte.

## REFERÊNCIAS

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 28];382:727-33. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1056/nejmoa2001017>
2. Perlman S. Another decade, another coronavirus. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 28];382:8. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1056/nejme1917479>
3. Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) – China, 2020. *CCDC Weekly* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 03];2(x):1-10. Disponível em: <https://newsus.cgtn.com/news/files/COVID-19.pdf>
4. Organização das Nações Unidas News [Internet]. Organização Mundial da Saúde declara novo coronavírus uma pandemia;2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/03/1706881>
5. Johns Hopkins University & Medicine [Internet]. Coronavirus resource center; 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
6. European Centre for Disease Prevention and Control [Internet]. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: increased transmission in the EU/EEA and the UK – seventh update; 2020 [cited 2020 Abr 03]. Disponível em: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-coronavirus-disease-2019-covid-19-pandemic#no-link>
7. Ministério da Saúde [Internet]. Coronavirus Brasil: Painel Coronavirus (Atualizado 23/04/2020); 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>
8. Secretaria da Saúde do Paraná [Internet]. Informe epidemiológico COVID-19 (Atualizado 23/04/2020); 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <http://www.saude.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=3507>
9. Ministério da Saúde [Internet]. Portal Coronavirus (COVID-19);2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/>
10. Cidade de São Paulo: Saúde [Internet]. Vigilância em saúde: boletins COVID-19; 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/vigilancia\\_em\\_saude/index.php?p=295572](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/vigilancia_em_saude/index.php?p=295572)
11. Ribeiro RSM. Previsões a partir do modelo epidemiológico SIR para os casos de infecção pelo COVID-19: Uma aplicação para os estados brasileiros. Belo Horizonte (MG): Grupo de Políticas Públicas e Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG; Nota técnica de fevereiro de 2020 [Internet]; [cited 2020 Abr 16]. Disponível em: <https://pesquisas.face.ufmg.br/gppd/wp-content/uploads/sites/24/2020/03/30.03-previsões-de-infecção-pelo-covid-19-aplicação-para-os-estados-brasileiros.pdf>
12. Secretaria da Saúde do Paraná [Internet]. Como é definido um caso suspeito do coronavírus?; 2020 [cited 2020 Abr 19]. Disponível em: <http://www.saude.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=3514>
13. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social [Internet]. Projeção da população dos municípios do Paraná - 2018 – 2040; 2020 [cited 2020 Abr 16]. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/pagina/projecao-da-populacao-dos-municipios-do-parana-2018-2040>
14. Bacaër N. McKendrick and Kermack on epidemic modelling (1926–1927). In: *A short history of mathematical population dynamics*. London: Springer [Internet]; 2011. p. 89-96 [cited 2020 Abr 16]. Disponível em: [https://dx.doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8\\_16](https://dx.doi.org/10.1007/978-0-85729-115-8_16)
15. R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

16. Byrd RH, Lu P, Nocedal J, and Zhu C. A limited memory algorithm for bound constrained optimization. *SIAM Journal on Scientific Computing* [Internet]. 1995 [cited 2020 Abr 16];16: 1190-1208. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1137/0916069>
17. IBGE [Internet]. Indicadores sociais municipais [cited 2020 Abr 28]. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv54598.pdf>
18. Governo do Estado do Rio de Janeiro [Internet]. Boletim diário: coronavírus; 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://coronavirus.rj.gov.br/boletins/>
19. Secretaria de Saúde de Pernambuco [Internet]. Pernambuco contra a COVID-19; 2020 [cited 2020 Abr 24]. Disponível em: <https://www.pecontracoronavirus.pe.gov.br/>
20. Remuzzi A, Remuzzi G. COVID-19 and Italy: what next?. *Lancet* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 04];395:1225-1228. Disponível em: [https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30627-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30627-9)
21. Wang H, Wang Z, Dong Y, Chang R, Xu C, Zhang S, et al. Phase-adjusted estimation of the number of coronavirus disease 2019 cases in Wuhan, China. *Cell Discov* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 16];6:10. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1038/s41421-020-0148-0>
22. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, Unwin H, Coupland H, Mellan T, et al. Report 13: estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 european countries. Imperial College London [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 16]. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.25561/77731>
23. Brasil, 2020. Boletim epidemiológico 05, Centro de Operações de Emergências em Saúde Pública, COVID-19, Ministério da Saúde, 13/03/2020 [cited 2020 Abr 27]. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/images/pdf/2020/marco/24/03--errata---boletim-epidemiologico-05.pdf>
24. Wynants L, Calster BV, Bonten MMJ, Collins GS, Debray TPA, Vos MD, et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19 infection: systematic review and critical appraisal. *BMJ* [Internet]. 2020 [cited 2020 Abr 16]; 369:m1328. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1136/bmj.m1328>
25. Oliveira AC, Lucas TC, Iquiapaza RA. O que a pandemia da COVID-19 tem nos ensinado sobre adoção de medidas de precaução?. *Texto Contexto Enferm* [Internet]. 2020 [cited 2020 Mai 04]; 29:e20200106. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/1980-265x-tce-2020-0106>

## **NOTAS**

### **CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA**

Concepção do estudo: Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE e Montiel SEM.

Coleta de dados: Martins CM e Montiel SEM.

Análise e interpretação dos dados: Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE e Montiel SEM.

Discussão dos resultados: Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE e Montiel EMS.

Redação e/ou revisão crítica do conteúdo: Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE e Montiel EMS.

Revisão e aprovação final da versão final: Martins CM, Gomes RZ, Muller EV, Borges PKO, Coradassi CE e Montiel EMS.

### **AGRADECIMENTO**

Agradecemos à Universidade Estadual de Ponta Grossa, Fundação Municipal de Saúde da Prefeitura Municipal de Ponta Grossa e AAC&T Consultoria em Pesquisa LTDA.

### **CONFLITO DE INTERESSES**

Não há.

### **HISTÓRICO**

Recebido: 06 de maio de 2020.

Aprovado: 15 de junho de 2020.

### **AUTOR CORRESPONDENTE**

Camila Marinelli Martins

cami.marinelli@gmail.com

