

Ajuste de modelos não lineares às notificações de Covid-19 no município de Palmas - Tocantins

Adjustment of non-linear models to Covid-19 notifications in the municipality of Palmas – Tocantins

Ajuste de modelos no lineales a notificaciones de Covid-19 en el municipio de Palmas - Tocantins

Recebido: 26/10/2021 | Revisado: 05/11/2021 | Aceito: 08/11/2021 | Publicado: 11/11/2021

Alane Lorena Medeiros Nesello

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1343-0731>

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Palmas, Brasil

E-mail: alanenesello06@gmail.com

Gabriella Nunes de Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1503-2470>

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Palmas, Brasil

E-mail: gabriellanunesdemoraes@gmail.com

Maryana Teixeira Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3865>

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Palmas, Brasil

E-mail: maryanateixeira09@gmail.com

Ronyere Olegário de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1951-4012>

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Palmas, Brasil

E-mail: ronyere.araujo@itpacporto.edu.br

Resumo

Compreender como a transmissibilidade de uma doença ocorre é importante para estabelecer medidas necessárias para combatê-la. Desta forma, o objetivo é identificar qual modelo não linear, entre os modelos de *Gompertz*, *Von Bertalanffy* e Logístico, se ajustaria melhor a curva de prevalência de casos de Covid-19 da cidade de Palmas-TO. Bem como analisar dados de notificações de casos e óbitos, em variáveis como gênero e faixa etária. Serão utilizados dados até setembro de 2021, encontrados no site da SESAU-TO, as notificações são confirmadas através do teste RT-PCR. As fórmulas dos modelos serão compiladas e representadas em gráficos. Para definir o melhor modelo será desenvolvido um IA, cujo menor valor indica o melhor ajuste. Podemos observar que apesar da maior taxa de acometimento ser em adultos, a maior letalidade foi em idosos. Em relação a variável gênero, a maior taxa de acometimentos foi no sexo feminino e de letalidade no sexo masculino. Podemos concluir que o modelo que apresentou melhor ajuste às notificações foi o de *Gompertz*, apresentando um menor valor de IA. Ademais, o valor estimado encontrado ao final do período observado no modelo *Gompertz* foi o mais semelhante ao número de notificações em Palmas dentre os modelos analisados. Foi também observado que o modelo de *Von Bertalanffy* apresentou um IA baixo, sendo também uma curva adequada para Palmas. Contudo, quanto a curva do método *Logístico*, foi o mais ajustado no início do período, porém com o avançar das mutações, acabou não se tornando efetiva para o município.

Palavras-chave: Pandemia Covid-19; Infecções virais; Epidemiologia analítica.

Abstract

Understanding how the transmissibility of a disease occurs is important to establish the necessary measures to combat it. Thus, the objective is to identify which non-linear model, between the models of Gompertz, Von Bertalanffy and Logistic, would better adjust the curve of prevalence of cases of Covid-19 of the city of Palmas-TO. As well as analyzing data from case reports and deaths, in variables such as gender and age group. Data will be used until September 2021, found on the SESAU-TO website, the notifications are confirmed through the RT-PCR test. The formulas of the models will be compiled and represented in graphs. To define the best model will be developed an AI, whose lowest value indicates the best fit. We can observe that although the highest rate of affection was in adults, the highest lethality was in the elderly. In relation to the variable gender, the highest rate of affection was in the female sex, and of lethality in the male sex. We can conclude that the model that presented the best fit to the notifications was the one from Gompertz, with a lower OI value. In addition, the estimated value found at the end of the period observed in the Gompertz model was the most similar to the number of notifications in Palmas among the models analyzed. It was also observed that Von Bertalanffy's model presented a low AI, being also a curve suitable for Palmas. However, as for the Logistic method curve, it was the most adjusted at the beginning of the period, but as the mutations progressed, it did not become effective for the municipality.

Keywords: Covid-19 Pandemic; Viral infections; Analytical epidemiology.

Resumen

Entender cómo se produce la transmisibilidad de una enfermedad es importante para establecer las medidas necesarias para combatirla. Así, el objetivo es identificar qué modelo no lineal, entre los modelos de Gompertz, Von Bertalanffy y Logístico, se ajusta mejor a la curva de prevalencia de casos de Covid-19 en la ciudad de Palmas-TO. Así como analizar datos de notificaciones de casos y defunciones, en variables como sexo y grupo de edad. Los datos se utilizarán hasta septiembre de 2021, que se encuentran en el sitio web de SESAU-TO, las notificaciones se confirman a través de la prueba de RT-PCR. Las fórmulas del modelo se compilarán y graficarán. Para definir el mejor modelo, se desarrollará una IA, cuyo valor más bajo indica el mejor ajuste. Podemos observar que a pesar de que la mayor tasa de afectación se da en adultos, la mayor tasa de mortalidad se da en los ancianos, en cuanto a la variable género, la mayor tasa de afectación se da en mujeres y la letalidad en varones. Podemos concluir que el modelo que mejor ajuste presentó las notificaciones fue el modelo Gompertz, con un valor de IA menor. Además, el valor estimado encontrado al final del período observado en el modelo de Gompertz fue el más similar al número de notificaciones en Palmas entre los modelos analizados. También se observó que el modelo de Von Bertalanffy presentó una IA baja, siendo también una curva adecuada para Palmas. Sin embargo, en cuanto a la curva del método Logístico, fue la más ajustada al inicio del período, pero con el avance de las mutaciones, terminó por no hacerse efectiva para el municipio.

Palabras clave: Pandemia de Covid-19; Infecciones virales; Epidemiología analítica.

1. Introdução

Os Coronavírus pertencem a uma família de vírus de RNA fita simples que se dividem em subfamílias chamadas de Orthocoronaviridae e Torovirinae, sendo que o novo coronavírus pertence à primeira (Ashour et al., 2020). No dia 31 de dezembro de 2019, iniciou-se uma série de infecções respiratórias na cidade de Wuhan, na China. Logo após, o vírus atravessou as barreiras do país e se instalou pela Ásia, se alastrando por toda a Europa e outros continentes do globo.

No Brasil, o primeiro caso suspeito foi notificado em 27 de fevereiro de 2020 (Brasil, 2020), sendo confirmado posteriormente, colocando assim as autoridades em alerta sobre quais medidas seriam tomadas para proteger a população e tratar os novos doentes afetados pela pandemia. No estado do Tocantins, o primeiro caso confirmado foi no dia 18 de março de 2020 por uma mulher que teve contato com o vírus numa viagem ao Ceará, dando início a curva epidemiológica no estado.

Com a pandemia da Covid-19, a população teve que se adaptar a uma nova forma de higiene pessoal e de isolamento, tendo mudanças no estilo de vida. O mundo todo passou por essas mudanças, e tiveram que obedecer às novas regras de convívio social, como reduzir a movimentação de pessoas e de contato, lavar bem as mãos e passar álcool em gel, evitar tocar nas mucosas oculares, nasais e bucais, evitar aglomeração em viagens aeronáuticas, usar a máscara, e tentar ao máximo ficar em casa respeitando o isolamento, a fim de impedir que novas pessoas sejam contaminadas.

Conforme os governantes entendiam a forma de transmissão do vírus, medidas foram criadas, e no governo do Tocantins as medidas de higiene pessoal foram incentivadas pelos meios de comunicação através da televisão e mídias sociais. Em contrapartida, as medidas tomadas quanto ao que se refere à suspensão de movimentação de pessoas em locais com grande número de transeuntes, como escolas e faculdades, foram impostas aos poucos no período de 6 dias, até chegar ao isolamento por completo.

Foi observado uma maior adesão às medidas de prevenção no início do isolamento social, com o passar do tempo, parte da população começou a flexibilizar tais medidas. É importante salientar que o nível de adesão as políticas de prevenção é uma variável que influencia a curva epidemiológica da doença.

Devido a magnitude da doença, serão analisados 3 diferentes modelos não lineares para descrever o padrão médio de crescimento da curva epidemiológica, são eles: o de *Von Bertalanffy*, *Gompertz* e o Logístico. Modelos não-lineares são utilizados com o intuito de reduzir um grande número de informações, em um pequeno conjunto de parâmetros contendo interpretações biológicas concretas (McManus et al., 2003, como citado em Cunha, 2014, p. 3). De acordo com os dados obtidos, pode-se inferir quais medidas de precaução devem ser tomadas.

Entender o modelo que melhor representa a curva epidemiológica da Covid-19 em Palmas-TO é importante para prever

o andamento da contaminação e infectibilidade do vírus e com essas informações, identificar quando é necessário criar ações preventivas mais ou menos rígidas, como intervenções públicas de fechamento do comércio ou volta de atividades educacionais presenciais.

A família dos coronavírus abrange cerca de 40 vírus, os membros dessa família atingem peixes, aves e mamíferos. Os coronavírus têm seu genoma formado por uma única cadeia de RNA envolto em proteínas e uma camada externa chamada "envelope", derivada das membranas celulares. Vírus "envelopados" são sensíveis a substâncias como sabão e outros solventes de gordura. Em 2003 foi identificado o coronavírus que causou a Síndrome Aguda Respiratória Severa Humana (SARS-CoV), que não alcançou escala mundial, esse vírus surgiu a partir de recombinações de coronavírus de morcegos (Roehle, 2020). O SARS-CoV-2, o SARS-CoV e o vírus MERS-CoV (causador da síndrome respiratória do Oriente Médio) fazem parte do mesmo gênero de coronavírus (betacoronavírus). A capacidade de replicação do SARS-CoV-2 é semelhante à do MERS-CoV, superior ao do SARS-CoV e inferior ao H1N1 (Bonfim, 2020).

Com o avanço da pandemia a curva epidemiológica da Covid-19 em outros países vai sendo construída, essa sofre a influência de como o governo e a população lida com as medidas estabelecidas (Oliveira et al., 2020). No Brasil, após a OMS declarar a Covid-19 como pandemia e o governo esclarecer melhor para população sobre as medidas preventivas, os indivíduos se sensibilizaram e cumpriram o isolamento. No entanto, com o decorrer das semanas, pessoas tinham que continuar a trabalhar, a economia não podia parar, fazendo assim com que vários comércios e trabalhos voltassem a rotina normal. Com isso, o aumento do número de casos no Brasil, Peru, Chile e Equador tiveram uma evolução com maiores evidências comparados a outros países da América Latina.

A diferença de contaminados pelo vírus após um mês dos primeiros casos entre os países da Europa é nítida. Na Itália e Espanha a curva seguiu sua forma exponencial, enquanto que em Portugal a curva foi em forma de "planalto persistente". As regiões que tiveram maior incidência de contaminação em Portugal foram a região norte e o centro de Lisboa, onde a transmissão se deve à uma maior concentração de moradores em lazer e estrangeiros que estão no país à trabalho. Isso obrigou que as medidas fossem mais rigorosas e obedecidas pela população, foram suspensos voos para Itália e Portugal, acordos de fronteiras terrestres com outros países também foram encerradas, a fim de que houvesse a diminuição de contato e contágio com o vírus. (Correia, 2020).

A curva epidemiológica da Covid-19 no Chile pode ser descrita como uma curva exponencial duplamente suavizada. Esse crescimento de casos no Chile acontece devido à falta de vigilância e ajustes em estratégias de medidas de intervenção da Covid-19 (Narváez et al, 2020). As medidas de saúde pública, são meios que precisam ser ajustados e melhorados para que a curva não se acentue mais. A infraestrutura e o sistema de saúde precisam de apoio e mecanismos para que futuramente o país não entre em um surto mais grave por falta de recursos. Essa curva continuará crescendo caso a saúde pública aliada com a responsabilidade da população em aderir às medidas não sejam ajustadas e melhoradas.

Além da Covid-19, temos outros exemplos de doenças virais que causam síndromes respiratórias agudas e podem causar desde sintomatologia leve até, em casos mais graves, levar o paciente à óbito. A influenza é um dos exemplos principais, sendo dividida em vários subtipos e foi a grande responsável pela Gripe Espanhola que aconteceu em 1918 e dizimou aproximadamente 20 milhões de pessoas, considerada uma das maiores pandemias da história mundial (Taubenbergert et al., 1997). Ao longo dos anos, o mundo presenciou vários surtos causados pelos diversos subtipos do vírus Influenza, sendo o H1N1 pdm09, também conhecido como Influenza tipo A, um dos protagonistas. O principal surto teve início em março de 2009 no México e rapidamente se alastrou pelo globo, propagando-se por 214 países e causando aproximadamente 395 mil mortes, sendo considerado uma pandemia em junho de 2009 pela Organização Mundial de Saúde até meados de agosto de 2010, quando deixou de ser considerado pandemia devido à grande diminuição do número de casos (Melchior, 2011).

Ademais, a taxa de mortalidade varia de 0,1 a 6,4 por 100.000 entre os indivíduos menores de 65 anos de idade, 2,9 a

44,0 por 100.000 entre 65 e 74 anos, e 17,9 a 223,5 por 100.000 nos indivíduos que têm idade acima de 75 anos (Iuliano et al, 2017). As maiores taxas de mortalidade foram registradas na África Subsaariana, sendo de 2,8 a 16,5 por 100.000 habitantes, e no Sudeste Asiático, com estimativa de 3,5 a 9,2 por 100.000 habitantes, a faixa etária mais afetada foi dos pacientes com idade ≥ 75 anos (Iuliano et al, 2017). As principais manifestações clínicas são: febre, dor de cabeça, mialgia, mal-estar, tosse não produtiva, dor de garganta e coriza. A transmissão se dá principalmente por meio de espirros e tosse, provavelmente por gotículas e aerossóis.

Em comparação, a infecção por SARS-CoV-2, se alastrou por diversos países e o número de óbitos ultrapassa 1 milhão em aproximadamente 11 meses desde o início da pandemia. A taxa de mortalidade no Brasil é de aproximadamente 78,2 óbitos por 100.000 habitantes, incidência de 2751,2 por 100.000 habitantes e taxa de letalidade de 2,8% (Brasil, 2020). A clínica da infecção pela Covid-19 se dá de diferentes formas, dependendo do sistema imune de cada paciente e das comorbidades que cada um possui. Alguns são assintomáticos, outros já apresentam clínica mais exuberante, sendo principalmente demonstrada por: febre, tosse, dor de garganta, mialgia, dispnéia, cefaleia, diarreia, entre outros sinais e sintomas. Grande parte dos pacientes são curados com medidas básicas de tratamento, embora, uma parcela dos infectados precise de cuidados mais específicos, sendo necessário uso de Unidades de Terapia Intensiva (UTI).

Em março de 2020, o coronavírus que surgiu na China no final de 2019, chegou em Palmas-TO, tendo o primeiro registro de caso confirmado. Isso foi o início para que começassem as medidas preventivas na capital, e mesmo com as rígidas prevenções, os casos aumentaram, e por isso, a curva epidemiológica é importante para prever o andamento da infectabilidade do vírus. Qual a melhor curva epidemiológica do Covid-19 que se encaixa em Palmas-TO? Qual a relação dos dados obtidos com as medidas de prevenção adotadas pelo governo?

Compreender como a transmissibilidade de uma doença ocorre é importante para estabelecer medidas necessárias para combatê-la. Desta forma, o objetivo do presente artigo é analisar a tendência da Covid-19 no município de Palmas-TO por três modelos de curvas, *Gompertz*, *Von Bertalanffy* e Logístico. Bem como quantificar dados de notificações de casos e óbitos, em variáveis como gênero e faixa etária.

2. Metodologia

O banco de dados analisado corresponde às notificações realizadas até setembro de 2021 no município de Palmas. Essas informações foram obtidas a partir dos boletins epidemiológicos publicados na página oficial da Secretaria de Saúde do Estado do Tocantins. A notificações registradas nesses boletins são confirmados a partir de testes rápidos ou RT-PCR.

Foram avaliadas as características Notificação Assintótica (A) que é o valor máximo esperado para a resposta, ou assíntota, ou seja, corresponde ao valor da notificação no momento da sua estabilização e a Taxa de Crescimento (K) que caracteriza a velocidade em que os registros se aproximam da notificação estável. O parâmetro β está relacionado com o intercepto, isto é, o valor de $\mu = E(y)$ correspondente a $x = 0$. Estes parâmetros foram preditos utilizando três modelos matemáticos não lineares clássicos os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos não lineares utilizados para descrever o padrão médio de crescimento e os parâmetros individuais das notificações.

Modelo	Autor	Equação
Von Bertalanffy	(Von Bertalanffy, 1957)	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^3 + \varepsilon$
Gompertz	(Laird, 1966)	$Y_t = Ae^{-Be^{-(Kt)}} + \varepsilon$
Logístico	(Nelder, 1961)	$Y_t = A(1 + e^{-Kt})^{-M} + \varepsilon$

Sendo que: Y representa a notificação em uma determinada data (t); B a constante de integração o qual está relacionado com os valores iniciais (grau de crescimento inicial); M é o parâmetro que dá forma a curva; e é o logaritmo em base natural; ε representa o erro aleatório associado a cada notificação. Fonte: Autores.

Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo algoritmo de *Gauss Newton* por meio do procedimento NLIN do *Statistical Analysis System – SAS for Windows* (SAS, 2001). No caso dos modelos não lineares, segundo Sarmiento et al. (2006), não é possível resolver o sistema de equações formado diretamente, como ocorre no caso linear, uma vez que a resolução do sistema é dependente dos próprios parâmetros a serem estimados. Desta forma, usa-se um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, o qual começa com valores iniciais, atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados, calcula-se a soma de quadrado do erro e, a cada passo, obtém-se um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro.

Os critérios utilizados para selecionar o modelo de melhor ajuste a curva de crescimento foram: desvio padrão assintótico (DPA), calculado a partir da raiz quadrada do quadrado médio do resíduo de cada modelo; análise gráfica das curvas observadas e estimadas; coeficiente de determinação (R^2) calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados segundo Sampaio (2007) e o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) estatística proposta por Sarmiento et al. (2006), calculado como a seguir:

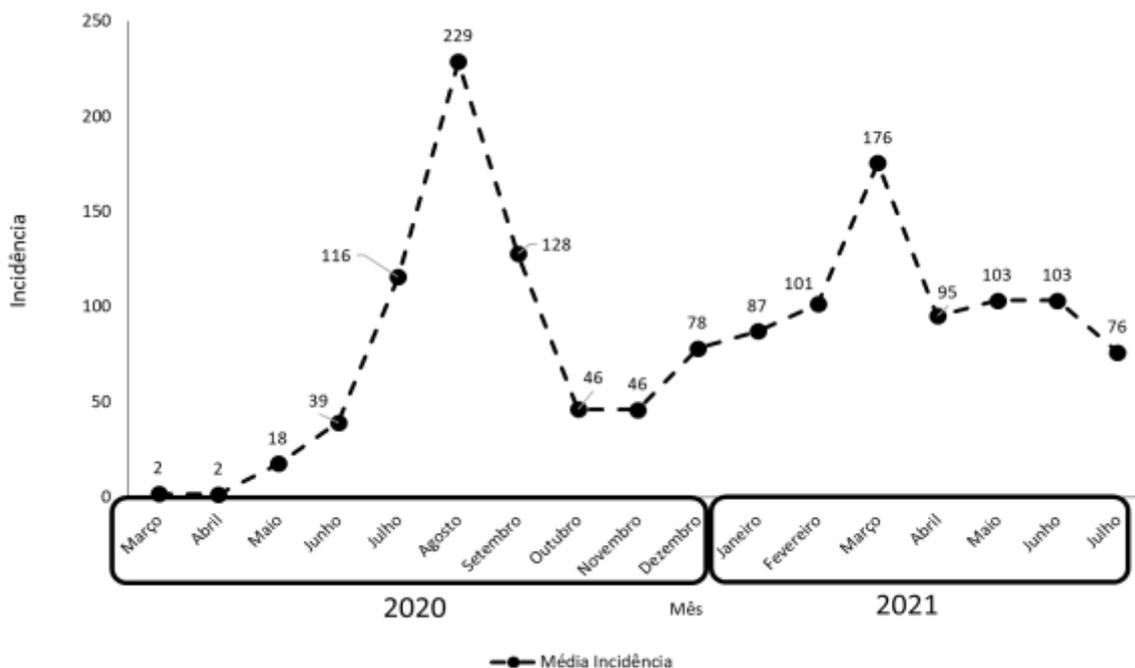
$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

em que Y_i é o valor observado; \hat{Y}_i , o valor estimado e n o tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste. Para proceder à escolha do melhor modelo, foi criado um índice assintótico (IA) como descrito por Ratkowsky (1990) que combinou os critérios de DPA, DMA e R^2 , em que a maior estimativa de cada foi atribuída como valor máximo (100%) e os demais ponderados em comparação a este, com isso, quanto menor o IA melhor o ajuste do modelo.

3. Resultados e Discussão

A partir dos resultados das incidências médias (figura 1) nos anos de 2020 e 2021, observa-se claramente dois picos de notificações médias. Tais picos podem ter relação com a reabertura das atividades comerciais ao público, por conseguinte, levando a uma maior aglomeração de pessoas e um maior risco de contágio. Em 2020 esse pico de notificação aconteceu no mês de agosto, no qual houve uma média de 229 casos. Por outro lado, em 2021 tal pico de notificação aconteceu no mês de março, observando-se uma incidência média de 176 casos. Essas notificações são precedidas de uma incidência crescente de casos, que se iniciou em 2020 no mês de maio e em 2021 no mês de fevereiro (Figura 1).

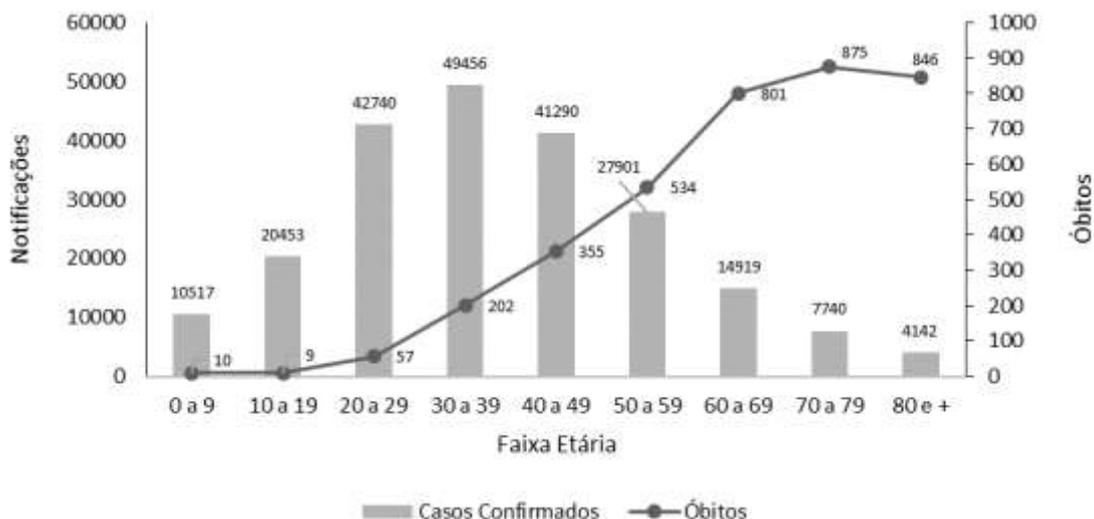
Figura 1 – Incidência média das notificações de Covid-19 no município de Palmas/TO por mês/ano de ocorrência.



Fonte: Dados coletados da SESAU-TO (2021).

Observa-se na Figura 2 que a letalidade da Covid-19 em indivíduos na faixa etária acima de 80 anos foi de 20%, uma vez que foi quantificado 846 óbitos em 4142 casos notificados. Por outro lado, observa-se que na faixa etária de maior incidência das notificações, que ocorreu no intervalo de 30-39 anos, a letalidade foi de 0,4%. Apesar dos adultos apresentarem uma maior incidência, a faixa etária dos idosos (acima de 80 anos) na cidade de Palmas tem a maior taxa de letalidade, em consonância com outras regiões do Brasil, como apresentado em dados coletados em Rondônia que mostraram uma taxa de letalidade de 13,2% (Escobar, Rodriguez & Monteiro, 2020) e do mundo (Shahid et al., 2020). A maior letalidade dos idosos se deve a grande prevalência de doenças crônicas nessa faixa etária, predispondo-os ao maior risco de severidade da doença (Romero et al., 2021).

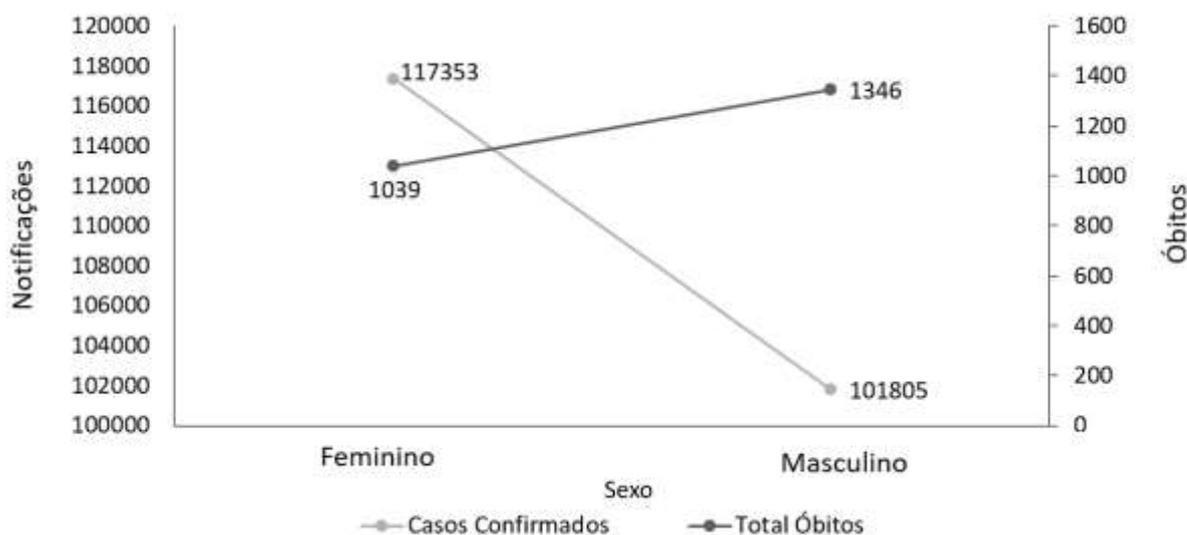
Figura 2 – Média das notificações de casos novos e de Óbitos por Covid-19 no município de Palmas/TO em relação a Faixa Etária.



Fonte: Autores.

Na Figura 3 pode se observar que houveram 15.548 notificações de casos confirmados a mais no grupo feminino, que totaliza uma notificação 15,3% maior em relação às notificações de casos no grupo masculino. Em contrapartida, houveram 307 notificações de óbitos a mais no grupo masculino, que totaliza uma notificação 29,5% maior em relação às notificações de óbitos por Covid-19 no grupo feminino. Apesar da porcentagem de notificações no grupo feminino ser de 53,55%, aproximando-se da proporção semelhante entre os dois gêneros, a taxa de notificação menor em homens pode estar relacionada ao hábito cultural de negligência aos cuidados de saúde pelos mesmos. A maior taxa de óbitos em homens vem sendo descrita na literatura, bem como a maior letalidade (Kriger, Chen & Waterman, 2020).

Figura 3 – Média das notificações de casos novos e de Óbitos por Covid-19 no município de Palmas-TO em relação ao sexo.



Fonte: Dados coletados da SESAU-TO (2021).

Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros (A, B, K e M), com seus respectivos erros-padrão (ep), a partir dos modelos utilizados para as notificações acumuladas.

Modelo	Estimativas dos Parâmetros \pm ep				DPA	R ²	DMA	IA
	A (freq.)	B	K (Freq./dia)	M				
Von	36440,0 \pm	0.96 \pm 0.006	0.005 \pm 0.001	-	4,66	99,9	5,33	90,87
Bertalanffy	12126,3							
Gompertz	46828,8 \pm	5.99 \pm 0.07	0.029 \pm 0.002	-	4,12	99,9	4,00	80,81
	15242,4							
Logístico	26475.8 \pm	-	0.015 \pm 0.002	8.00 \pm 0.11	4,83	99,2	7,00	99,7
	9817,3							

DPA = Desvio Padrão Assintótico em %; R² = Coeficiente de Determinação em %; DMA = Desvio médio absoluto em % e IA = Índice Assintótico. Fonte: Autores (2021).

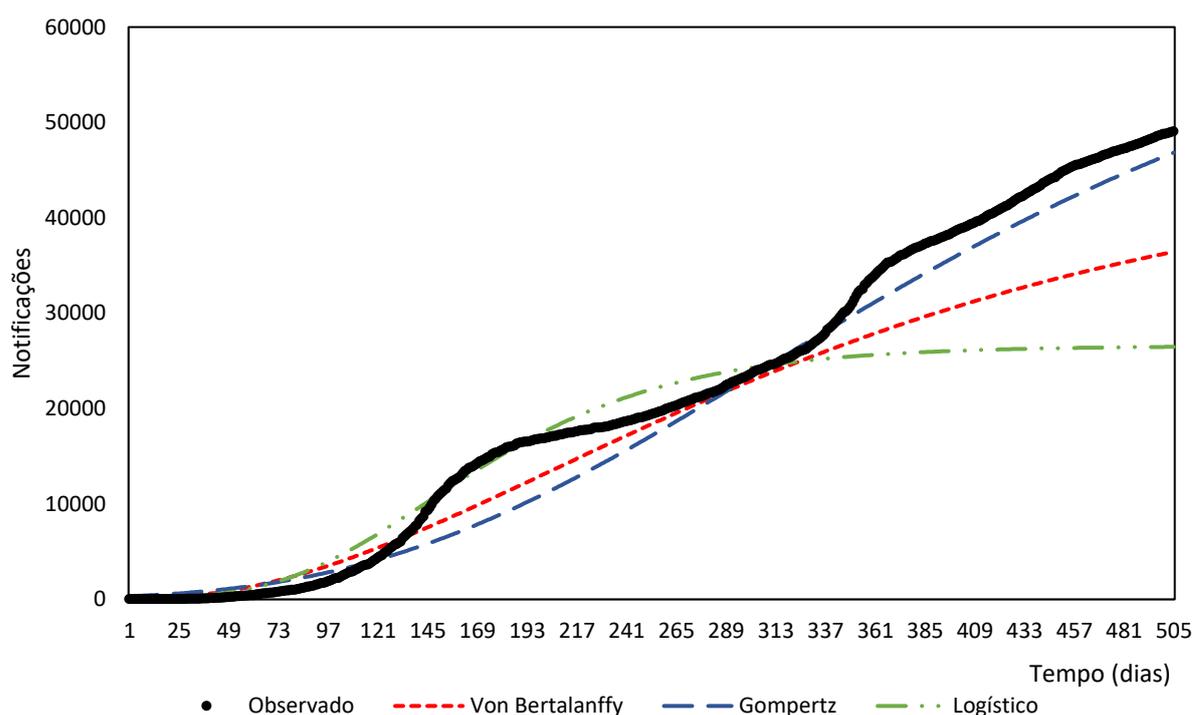
Os resultados observados de notificações de casos e óbitos em relação a faixa etária e gênero são semelhantes aos encontrados em artigos de outras localidades do Brasil (Pereira, Pícoli & Cazola, 2020). A análise dos dados obtidos de variáveis

como gênero e faixa etária, são importantes para identificar possíveis fragilidades e populações com maior necessidade de intervenção, para o estabelecimento de medidas mais adequadas assim prevenindo a mortalidade nos grupos mais vulneráveis.

Os modelos apresentam ajustes adequados para os casos acumulados dentro do período abordado (Tabela 2). Para as notificações acumuladas, observa-se que modelo *Gompertz* foi o que apresentou melhor ajuste ao somatório das notificações de Covid-19, representado pelo menor valor de IA (Tabela 2 e Figura 4). Ademais, o valor estimado encontrado ao final do período observado no modelo *Gompertz* foi o mais semelhante ao número de notificações em Palmas dentre os modelos analisados. Este modelo estimou que a quantidade de notificações acumuladas tende a se estabilizar com $46828,8 \pm 15242,4$ de média de casos.

Além disso, foi visto que o modelo de *Von Bertalanffy* também se mostrou adequado para projeção de casos de Palmas, apresentando um IA baixo. Entretanto, pudemos observar que o início da curva do método Logístico foi o que melhor descreveu a tendência observada em Palmas. Porém, ao decorrer da doença foi analisado que houveram muitas variações, tornando-o um modelo não linear não tão significativo para o município. Além disso, pudemos observar que no início da transmissão da doença, esse modelo apresentava o número de casos superestimado, sugerindo que os infectados aumentariam.

Figura 4 - Curvas de crescimento obtidas pela média das notificações acumuladas observadas e pelas notificações preditas a partir dos modelos de *Von Bertalanffy*, *Gompertz* e Logístico nos diferentes dias.



Fonte: Autores (2021).

4. Conclusão

O modelo que melhor representou foi o de *Gompertz*, tendo o menor índice assintótico dentre os modelos utilizados. Além disso, o modelo de *Von Bertalanffy* também apresentou um índice assintótico baixo, porém teve algumas variações, tendo ficado em segundo lugar para o município. Por fim, o modelo Logístico foi adequado no início do registro dos casos, entretanto seu ajuste não foi congruente em todo o período observado, tornando-o inadequado para analisar a tendência da doença em Palmas.

Além disso, referente a epidemiologia dos casos em Palmas, foi evidenciado que a maior prevalência da doença se deu

na faixa etária de 30-39 anos, já na faixa dos 80-89 anos foi observada a maior taxa de letalidade. Em relação ao gênero, o sexo feminino foi o que abrangeu o maior número de notificações e o sexo masculino apresentou a maior mortalidade e letalidade da doença.

Portanto, fica evidente que é importante a realização de trabalhos futuros para compreender melhor o comportamento da infectibilidade da Covid-19 e assim haver um melhor manejo das políticas públicas e de flexibilização das medidas de prevenção da doença. Ademais, a metodologia utilizada para a execução desse estudo pode ser abordada para prever o comportamento de outras doenças infecciosas que porventura possam vir a tornar-se epidemias ou pandemias futuramente.

Referências

- Ashour, H. M., Elkhatib, W. F., Rahman, M. M., & Elshabrawy, H. A. (2020). Insights into the Recent 2019 Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) in Light of Past Human Coronavirus Outbreaks. *Pathogens* (Basel, Switzerland), 9(3), 186. <https://doi.org/10.3390/pathogens9030186>
- Bomfim, F. (2020). COVID-19, a pandemia que mudou a saúde e a economia. *Revista Ciências Em Saúde*, 10(2), 1-2. <https://doi.org/10.21876/rcshci.v10i2.995>
- Brasil. Ministério da Saúde. (2020). *Painel Coronavírus*. Página inicial. <https://covid.saude.gov.br/>.
- Correia, T. (2020). A gestão política da Covid-19 em Portugal: contributos analíticos para o debate internacional. *Revista Saúde em Debate*, Agosto 2020. <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/download/1140/1711/1795>.
- Cunha, Y. L. da. (2014). Utilização de modelos não lineares para descrever a curva de crescimento de caprinos leiteiros da raça Alpina. Curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. <http://www.agn.ufv.br/wp-content/uploads/2017/08/CunhaY.L.-40952.pdf>
- Escobra, A. L., Rodriguez, T. D. M., & Monteiro, J. C. (2020). Letalidade e características dos óbitos por COVID-19 em Rondônia: estudo observacional. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 9. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-49742021000100019>.
- Juliano, A. D. (2018). Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study. *The Lancet*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29248255/>.
- Krieger, N., Chen, J. T. & Waterman, P. D. (2020). Excess mortality in men and women in Massachusetts during the COVID-19 pandemic. *The Lancet*. 395, 10240, p. 1829. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)31234-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(20)31234-4). [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)31234-4/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)31234-4/fulltext).
- Laird, A. K. (1966). Dynamics of relative growth. *Growth, Bar Harbor*, v.29, p.249-263.
- Ministério da Saúde. (2004). *Boletim Epidemiológico 01*. Brasília, DF: Ministério da Saúde.
- Narváez, V. D. (2020). Qual é a curva que melhor explica o crescimento de casos confirmados da COVID-19 no Chile? *Revista Latino-Am. Enfermagem*, vol.28. Ribeirão Preto 2020 Epub June 26, 2020. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-11692020000100366&script=sci_arttext&lng=pt.
- Nelder, J. A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, v.17, p.89-94.
- Oliveira, A. C. d., Lucas, T. C., & Iquiapaza, R. A. (2020). O que a Pandemia da Covid-19 tem nos ensinado sobre adoção de medidas de Prevenção? *SciELO - Scientific Electronic Library Online - Special Section COVID-19*, 29, 1. <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2020-0106>
- Melchior, T. B. (2011). H1N1: pandemia e perspectiva atual. *J. Bras. Patol. Med. Lab*, 47. <https://doi.org/10.1590/S1676-24442011000600007>
- OMS. (2020). Transmissão do SARS-CoV-2: implicações para as precauções de prevenção de infecção. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52472/OPASWBRACOV-1920089_por.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&ved=2ahUKEwifzXlm4f0AhXS5GbkGHeI-DgAQFnoECBcQAQ&usq=AOvVaw3A_kgRi8vdtriySYCdGEBR
- Pereira, G. d. A., Pícoli, R. P., & Cazola, L. H. d. O. (2020). Integración del agente de combate a las endemias en la Estrategia Salud Familiar, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, 2017. *Epidemiol. Serv. Saúde*, (30), 1. <https://doi.org/10.1590/S1679-49742021000100018>
- Ratkowsky, D. A. (1990). *Handbook of nonlinear regression models* (1st ed.). Marcel Dekker Inc.
- Roehle, P. (2020, April 30). Coronavírus, covid-19, SARSCoV-2 e outros – um ponto de vista virológico. *Jornal da Universidade*. <https://www.ufrgs.br/jornal/coronavirus-covid-19-sarscov-2-e-outros-um-ponto-de-vista-virologico/>
- Sampaio, I. B. M. (2007). *Estatística aplicada à experimentação animal* (3rd ed.). FEPMVZ.
- Sarmento, J. L. R., Regazzi, A. J., Sousa, W. H. d., Torres, R. d. A., Breda, F. C., & Menezes, G. R. d. O. (2006). Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. *R. Bras. Zootec*, 35. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200014>
- SAS (2001). *SAS user's guide: statistical, Analysis System Institute, Inc., Cary, NC*, 2001. https://www.sas.com/pt_br/curiosity.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=brand-global&utm_content=GMS-158646-gbcef&gclid=CjwKCAjwzt6LBhBeEiwAbPGOGWWG4oPlkxMwHrEEksUmuxjP12-sjEXRHQ7-WHV2JGtLHsJwLkMabBoC1REQAvD_BwE.

Shahid, Z., Kalayanamitra, R., McClafferty, B., Kepko, D., Ramgobin, D., Patel, R., Aggarwal, C. S., Vunnam, R., Sahu, N., Bhatt, D., Phar, K. J., Golamari, R., & Jain, R. (2020). COVID-19 e adultos mais velhos: o que sabemos. *Journal of the American Geriatrics Society*, (5), 1. <https://doi.org/10.1111/jgs.16472>

Sousa, G. J. B., Garces, T. S., Cestari, V. R. F., Moreira, T. M. M., Florêncio, R. S., & Pereira, M. L. D. (2020). Estimação e predição dos casos de COVID-19 nas metrópoles brasileiras. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*, (28), 1. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4501.3345>

Taubenberger, J. K., Reid, A. H., Krafft, A. E., Bijwaard, K. E., & Fanning, T. G. (1997). Initial genetic characterization of the 1918 "Spanish" influenza virus. *Science* (New York, N.Y.), 275(5307), 1793–1796. <https://doi.org/10.1126/science.275.5307.1793>

SESAU-TO, G. d. T. (2021, September 20). Dados Epidemiológicos (COVID-19). *Integra Saúde Tocantins*. Retrieved September 20, 2021, from <http://integra.saude.to.gov.br/covid19/InformacoesEpidemiologicas>

Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth (32), 218. *Quarterly Review of Biology*.