

Velocidade de mortes e casos confirmados da COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo
Velocity of deaths and confirmed cases of COVID-19 in Brazil, Italy and worldwide
Velocidad de muertes y casos confirmados de COVID-19 en Brasil, Italia y en todo el mundo

Recebido: 29/04/2020 | Revisado: 01/05/2020 | Aceito: 05/05/2020 | Publicado: 12/05/2020

Edgo Jackson Pinto Santiago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3981-7635>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: edgoj@hotmail.com

Ana Karla da Silva Freire

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0338-9536>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: akarlasf@hotmail.com

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5150-9331>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: denialmeida@gmail.com

Jackson Freitas de Amorim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5288-968X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: ibamorim@gmail.com

Ana Luíza Xavier Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3678-4340>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: analuzaxcunha@gmail.com

Jucarlos Rufino de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3497-4263>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: jucarlos123@hotmail.com

Antonio Samuel Alves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-0036>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: samuelsmathematical@gmail.com

Guilherme Rocha Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6344-1151>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: guirocham@gmail.com

José Ramon Barros Cantalice

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8209-341X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: cantalice21@hotmail.com

Moacyr Cunha Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3466-8143>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: moacyr.cunhafo@ufrpe.br

Resumo

Objetivo: descrever ajustes de modelos de regressão não linear a velocidades de mortes e de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo, além de identificar indícios da efetividade do distanciamento social no Brasil. **Método:** utilizaram-se dados do Ministério da Saúde do Brasil e da Organização Mundial de Saúde. A comparação dos modelos foi realizada pelos critérios de informação de Akaike e Bayesiano. **Resultados:** a velocidade média de mortes pela COVID-19 no Brasil e na Itália foi estatisticamente igual nos primeiros 15 dias do curso da doença em cada país, mas diferente nos primeiros 25 dias. No Brasil, a taxa de letalidade até o dia 10/04/2020 foi inferior a 5,5% com tendência de aumento linear. Os resultados evidenciaram o crescimento exponencial nas regiões e, para a Itália, as estimativas foram assertivas ao demonstrar redução da velocidade do número de mortes a partir do dia 26/04/2020. **Conclusão:** Os modelos não lineares utilizados foram adequados para descrever a velocidade de mortes e de casos confirmados de COVID-19. No Brasil a velocidade média de novos casos de COVID-19 até o dia 10/04/2020 foi menor, podendo ter como causa provável, entre outras coisas, o distanciamento social em prática.

Palavras-chave: Dinâmica não linear; Infecções por coronavírus; Pandemias; Isolamento Social; Síndrome respiratória aguda grave.

Abstract

Objetivo: descrever ajustes de modelos de regressão não linear a velocidades de mortes e de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo, além de identificar indícios da efetividade do distanciamento social no Brasil. **Método:** utilizaram-se dados do Ministério da Saúde do Brasil e da Organização Mundial de Saúde. A comparação dos modelos foi realizada pelos critérios de informação de Akaike e Bayesiano. **Resultados:** a velocidade média de mortes pela COVID-19 no Brasil e na Itália foi estatisticamente igual nos primeiros 15 dias do curso da doença em cada país, mas diferente nos primeiros 25 dias. No Brasil, a taxa de letalidade até o dia 10/04/2020 foi inferior a 5,5% com tendência de aumento linear. Os resultados evidenciaram o crescimento exponencial nas regiões e, para a Itália, as estimativas foram assertivas ao demonstrar redução da velocidade do número de mortes a partir do dia 26/04/2020. **Conclusão:** Os modelos não lineares utilizados foram adequados para descrever a velocidade de mortes e de casos confirmados de COVID-19. No Brasil a velocidade média de novos casos de COVID-19 até o dia 10/04/2020 foi menor, podendo ter como causa provável, entre outras coisas, o distanciamento social em prática.

Keywords: Non-linear dynamics; Coronavírus infections; Pandemics; Social isolation; Severe acute respiratory syndrome.

Resumen

Objetivo: describir los ajustes de los modelos de regresión no lineal a la velocidad de las muertes y los casos confirmados de COVID-19 en Brasil, Italia y el mundo, además de identificar evidencia de la efectividad de la distancia social en Brasil. **Método:** se utilizaron datos del Ministerio de Salud de Brasil y de la Organización Mundial de la Salud. Los modelos se compararon utilizando los criterios de información de Akaike y Bayesiano. **Resultados:** la velocidad promedio de muertes por COVID-19 en Brasil e Italia fue estadísticamente igual en los primeros 15 días de la enfermedad en cada país, pero diferente en los primeros 25 días. En Brasil, la tasa de mortalidad hasta el 10/04/2020 fue inferior al 5,5% con una tendencia de aumento lineal. Los resultados mostraron el crecimiento exponencial en las regiones y, para Italia, las estimaciones fueron asertivas al demostrar una reducción en la velocidad del número de muertes al 26/04/2020. **Conclusión:** Los modelos no lineales utilizados fueron adecuados para describir la velocidad de las muertes y los casos confirmados de COVID-19. En Brasil, la velocidad promedio de los nuevos casos de COVID-19 hasta el 10/04/2020 fue menor, lo que puede tener como causa probable, entre otras cosas, la distancia social en la práctica.

Palabras clave: Dinâmica no lineal; Infecções por coronavírus; Pandemias; Aislamiento social; Síndrome respiratorio agudo severo.

1. Introdução

A COVID-19 é uma doença causada por um contagioso vírus que surgiu em Wuhan na China em dezembro de 2019 e de acordo com Liu et al. 2020 assemelha-se ao coronavírus, causador da Síndrome Respiratória Aguda Severa (SARS) e ao coronavírus da Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS). Por esta razão, o Comitê Internacional de Taxonomia de Vírus nomeou esse novo agente etiológico como coronavírus 2 da Síndrome Respiratória Aguda Grave, o SARS-CoV-2 (El-Aziz & Stockand, 2020).

Desde então um crescente número de casos de infecção pneumática associada a este agente infeccioso foi identificado em outras cidades chinesas e logo espalhou-se para diversas partes do mundo (Li et al., 2020), incluindo o Brasil (Santiago et al., 2020)

A doença tornou-se emergência em saúde pública de preocupação internacional, uma vez que as medidas de combate a infecção têm representado desafios à saúde e economia mundial (Winichakoon et al., 2020; Reinholz & French, 2020). Diante da rápida disseminação e dos casos globais a doença foi classificada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde em 11 de março de 2020, indicando haver surtos de COVID-19 em vários países e regiões do mundo (OPAS, 2020), gerando um grande infortúnio público.

Enquanto a ciência de todo mundo busca algum medicamento ou vacina capaz de combater a COVID-19, sua ação danosa espalha-se descontroladamente por todo globo. O aumento no número de vítimas e de novos casos confirmados cresce expressivamente e, de acordo com Jung et al., (2020), Zhao et al. (2020) e (Santiago et al., 2020), de maneira exponencial.

Em vista da vulnerabilidade geral das populações a essa doença infecciosa e para entender a evolução e a dinâmica epidêmica de COVID-19 no Brasil, estudos estatísticos comparativos e análises preliminares da situação pandêmica podem ser importantes para fornecer base na prevenção, avaliação do cenário epidemiológico em curso e projeção da evolução da doença.

Para isso, múltiplas são as possibilidades como o emprego de modelos regressivos não lineares. Destarte, o objetivo deste trabalho foi descrever ajustes de modelos de regressão não linear a velocidades de mortes e de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo, além de identificar indícios da efetividade do distanciamento social no Brasil.

2. Metodologia

Realiza-se um estudo de natureza quantitativa como preconiza Pereira et al. (2018) e neste tipo de estudo se utilizam números, valores numéricos, porcentagens e/ou equações ou, fórmulas matemáticas.

Foram utilizados dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde do Brasil e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para ajustar modelos de regressão não linear às variáveis velocidade de morte por COVID-19 (número de morte acumulada dia⁻¹) e velocidade de casos confirmados de COVID-19 (número acumulado de casos confirmados dia⁻¹) no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

A Itália foi escolhida para comparação por possuir até 10/04/2020 um dos maiores números de casos confirmados e mortes por COVID-19.

Para a velocidade de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e mundo até 10/04/2020, foram ajustados os seguintes modelos não lineares:

- Para mundo

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a}\right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (DH);}$$

(1)

$$f(x) = \frac{(a+bx)}{1+cx+dx^2}, \text{ modelo racional (R);}$$

(2)

- Para o Brasil

$$f(x) = ab^x x^c, \text{ modelo de Hoerl (H);}$$

(3)

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a}\right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (DH);}$$

(4)

- Para a Itália

$$f(x) = \frac{a}{1+b \exp(-cX)}, \text{ modelo logístico (L);}$$

(5)

$$f(x) = \frac{a}{1+\left(\frac{x}{b}\right)^c}, \text{ modelo poder logístico (PG);}$$

(6)

Em que x representa o número de dias a partir da primeira morte confirmada no respectivo local.

Para a velocidade de casos confirmados da COVID-19 foram ajustados os seguintes modelos não lineares:

- Para mundo

$$f(x) = \frac{(a+bx)}{1+cx+dx^2}, \text{ modelo racional (R);}$$

(7)

$$f(x) = c \left(1 + \frac{bx}{a}\right)^{-\frac{1}{b}}, \text{ modelo de declínio hiperbólico (HD);}$$

(8)

- Para o Brasil

$$f(x) = a \exp\left(\frac{b}{x}\right), \text{ modelo exponencial modificado (EM);}$$

(9)

$$f(x) = \exp\left\{a + \frac{b}{x} + \ln(x)c\right\}, \text{ modelo pressão de vapor (PV);}$$

(10)

- Para a Itália

$$f(x) = a \exp\left\{-\frac{(x-b)^2}{2c^x}\right\}, \text{ modelo gaussiano (G);}$$

(11)

$$f(x) = a - b \exp\{-cx^{3,81}\}, \text{ modelo Weibull (W);}$$

(12)

Em que x representa o número de dias a partir do primeiro caso confirmado no respectivo local.

Para verificar a taxa de letalidade da COVID-19 no Brasil, Itália e mundo até 10/04/2020, realizou-se análise de regressão linear simples do tipo $y = ax + b$. A taxa de letalidade da doença foi obtida pela Eq. 13.

$$\text{Taxa de letalidade} = \frac{\text{número de casos confirmados da COVID-19}}{\text{número de mortes confirmadas pela COVID-19}}$$

(13)

A comparação dos dois modelos selecionados para cada local deu-se pelo critério de informação de Akaike - AIC (1973) e pelo critério de informação Bayesiano de Schwarz's - BIC (1978). Utilizou-se ainda o coeficiente de determinação (R^2) e de determinação ajustado (R^2_{ajustado}), além da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) de cada modelo como sugerido por Zalina et al. (2018).

Os parâmetros foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, sendo as estimativas (Coef.) dos mesmos verificadas pelo teste t de Student a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. Além disso, determinou-se o erro padrão (EP) de cada estimativa, bem como o intervalo de confiança (IC_{95%}) construído com 95% de chance de conter o verdadeiro valor do parâmetro.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentadas estatísticas dos critérios de seleção dos modelos utilizados, a fim de escolher o não linear mais adequado para modelar a velocidade diária de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo.

Tabela 1. Critérios de seleção de modelos aplicados à variável velocidade de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

Local	Modelo	AIC	BIC	R ²	R ² _{ajustado}	RMSE
Mundo	DH	780,3139	787,4222	0,9927	0,9924	33,1532
	R	713,2533	722,7311	0,9970	0,9968	21,5563
Brasil	DH	40,6717	44,3283	0,9993	0,9993	0,51603
	H	35,9335	39,5901	0,9995	0,9994	0,4694
Itália	L	236,3206	241,9342	0,9998	0,9998	2,7525
	LP	290,4976	296,1112	0,9995	0,9995	4,8397

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Observa-se que no mundo, o modelo R apresentou os menores valores para as estatísticas AIC, BIC e RMSE, sendo, por isso, escolhido para representação gráfica dessa variável. Ainda, pela Tabela 1 é possível observar que no Brasil e na Itália os modelos mais adequados para modelar o número de mortes foram o H e L, respectivamente, por terem apresentado as menores estatísticas AIC, BIC e RMSE, quando comparados a seu concorrente local.

Na Tabela 2 encontram-se as estimativas dos parâmetros (Coef.) de cada modelo com seus respectivos erros-padrão (EP) e intervalo de confiança (IC_{95%}).

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros (Coef.) e respectivos erros-padrão (EP), estatísticas de teste t (t) e intervalo de confiança (IC_{95%}) de cada modelo aplicado à variável velocidade de mortes por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

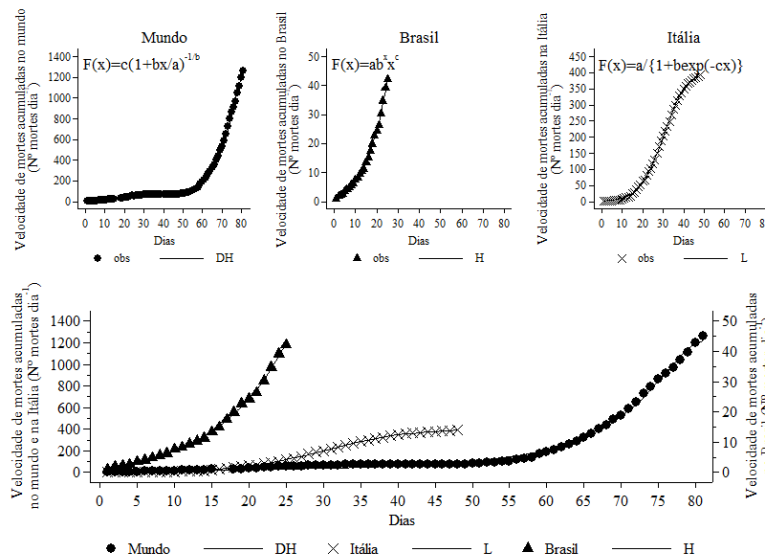
Local	Modelo	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}
Mundo	DH	a	-15,0958	2,7425	-5,50	<0,001	0,0728 5,6301
		b	0,0455	0,0391	1,16	0,248	-0,0324 0,1234
		c	2,8515	1,3951	2,04	0,044	-20,5580 -9,6336
	R	a	14,1114	2,6123	5,40	< 0,001	8,9072 19,3153
		b	0,0589	0,0504	1,17	0,247	-0,0416 0,1593
		c	-0,0241	0,0001	-184,8	<0,001	-0,0244 -0,0239
d		0,0001	1,46E-6	101,61	<0,001	0,0001 0,0002	
Brasil	DH	a	-5,9604	0,5232	-11,39	<0,001	-7,0455 -4,8753
		b	-0,1404	0,0298	-4,71	<0,001	-0,2024 -0,0785
		c	1,5743	0,1586	9,92	<0,001	1,2453 1,9033
	H	a	1,1767	0,1710	6,88	<0,001	0,8222 1,5313
		b	1,0997	0,0055	200,21	<0,001	1,0883 1,1111
		c	0,3784	0,0809	4,68	<0,001	0,2108 0,5461
Itália	L	a	408,6301	1,7777	229,86	<0,001	405,0495 412,2106
		b	197,6191	8,5100	23,22	<0,001	412,2106 214,7591
		c	0,1755	0,0017	103,25	<0,001	0,1721 0,1789
	LP	a	471,8897	7,2427	65,15	<0,001	457,3021 486,4773
		b	31,8608	0,2950	108,01	<0,001	31,2667 32,4550
		c	-4,2365	0,0903	-46,90	<0,001	-4,4184 -4,0545

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Verifica-se (Tabela 2) que com exceção dos modelos DH e R para o mundo, que tiveram ao menos um de seus parâmetros não significativos a uma probabilidade de 5%, os demais modelos apresentam estimativas dos seus coeficientes significativos a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%, demonstrando que os modelos propostos e ajustados podem ser utilizados para realizar estimativas.

Apresenta-se na Figura 1 a velocidade de mortes acumuladas na Itália, Brasil e no mundo por COVID-19 e sua respectiva estimativa pelos modelos não lineares (DH, H e L) selecionados como os melhores para cada local.

Figura 1. Ajuste de modelos não lineares à velocidade de morte por COVID-19 no Brasil (modelo H), Itália (modelo L) e no mundo (modelo DH) até 10/04/2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na Figura 1 é possível verificar o ajuste satisfatório produzido pelos respectivos modelos não lineares empregados, bem como a forte ascensão da velocidade diária de mortes ao longo do tempo. É observada para Itália uma tendência de estabilização da velocidade de mortes por COVID-19 (Figura 1). Para este país o modelo L indicou uma velocidade assintótica de 408,63 mortes dia^{-1} o que deveria acontecer entre os dias 64 e 94 desde da primeira morte confirmada; ou seja, na Itália a máxima assíntota da sigmoide produzida pelo modelo L deveria ocorrer já a partir do dia 26/04/2020. Previsão esta assertiva, já que foi a data que efetivamente a velocidade de mortes por COVID-19 passou a reduzir.

Quando se compara a velocidade média diária de mortes por COVID-19 no Brasil (6,24) com as da Itália (7,9) nos primeiros 15 dias desde a confirmação da primeira morte em cada país, verifica-se que não há diferença significativa ($p=0,0654$) pelo teste t de Student a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. Isso sugere uma evolução no acometimento de mortes pela doença similar nos dois países.

Apesar disso, nos primeiros 25 dias é possível verificar a existência de expressiva diferença significativa ($p=0,001$) pelo teste t com velocidades médias de 14,64 mortes dia^{-1} no Brasil e 32,62 mortes dia^{-1} na Itália. Este resultado pode ser reflexo do distanciamento social praticado no Brasil de modo antecipado a partir da semana em que a primeira morte por COVID-19 foi confirmada em 17/03/2020, mas não é descartado também outros fatores potencialmente associados.

Ao estimar o número de morte para o Brasil no 40º dia, equivalente a data 25/04/2020, considerando que a tendência da velocidade de morte continuasse semelhante às verificadas até o dia 10/04/2020 (25º dia desde a primeira morte confirmada no Brasil), a estimativa pelo modelo H seria de 212,84 mortes dia⁻¹. Ou seja, deveria ter havido até a data 25/04/2020 um total de 8.514 mortos. Essa projeção não se confirmou já que o acúmulo de mortes no Brasil até esta data foi de 4.016.

No mesmo período (40º dia, 02/04/2020), a Itália já registrava 13.915 mortes pela COVID-19 com velocidade de 347,88 mortes dia⁻¹, ou seja, se fosse concretizada a projeção para o Brasil a estimativa seria uma redução de 38,81% das mortes em relação a Itália. Mas como se sabe a real redução foi de 71,13% já que o acúmulo de mortes no Brasil até 25/04/2020 foi de 4.016. Tal redução foi provavelmente resultante, dentre outras coisas, do distanciamento social praticado no Brasil de modo antecipado em relação a Itália, país que adotou medidas de distanciamento e isolamento de modo tardio.

O estudo realizado por Li et al., (2020) com os primeiros 425 casos confirmados em Wuhan na China, forneceu evidências de transmissão de humano para humano por contato próximo. Estes autores sugeriram que medidas para impedir ou reduzir a transmissão fossem implementadas, sobretudo em populações de risco. Desde então, diversas nações e, dentre elas o Brasil, vem implementando o distanciamento social, que, de acordo com Song e Karako (2020), reduz a progressão da doença. Segundo Medeiros et al. (2020), o distanciamento social visa separar pessoas sintomáticas ou não, impedindo disseminação do agente etiológico infeccioso. Na Tabela 3, encontram-se as estatísticas dos critérios de escolha dos modelos não lineares utilizados para modelar a variável velocidade diária de casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

Tabela 3. Critérios de seleção de modelos aplicados à variável velocidade diária de casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

Local	Modelo	AIC	BIC	R ²	R ² _{ajustado}	RMSE
Mundo	R	1260,041	1269,518	0,9917	0,9913	686,3235
	HD	1311,407	1318,515	0,9837	0,9830	955,7411
Brasil	EM	314,743	318,0182	0,9951	0,9948	14,8325
	PV	266,751	271,663	0,9987	0,9986	7,7921
Itália	G	530,475	536,089	0,9991	0,9990	58,9456
	W	516,815	522,428	0,9981	0,9980	51,1272

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Apesar dos modelos apresentarem coeficientes de determinação (R^2) e determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) muito bons, com valores maiores que 0,98, os modelos indicados como melhores, segundo os critérios AIC, BIC e RMSE foram o R, EM e W, respectivamente para o mundo, Brasil e Itália (Tabela 3).

Na Tabela 4 encontram-se as estimativas dos parâmetros de cada modelo com seus respectivos erros-padrão (EP) e intervalos de confiança ($IC_{95\%}$).

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros (Coef.) e respectivos erros-padrão (EP), estatísticas de teste t (t) e intervalo de confiança ($IC_{95\%}$) de cada modelo aplicado à variável velocidade diária de casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

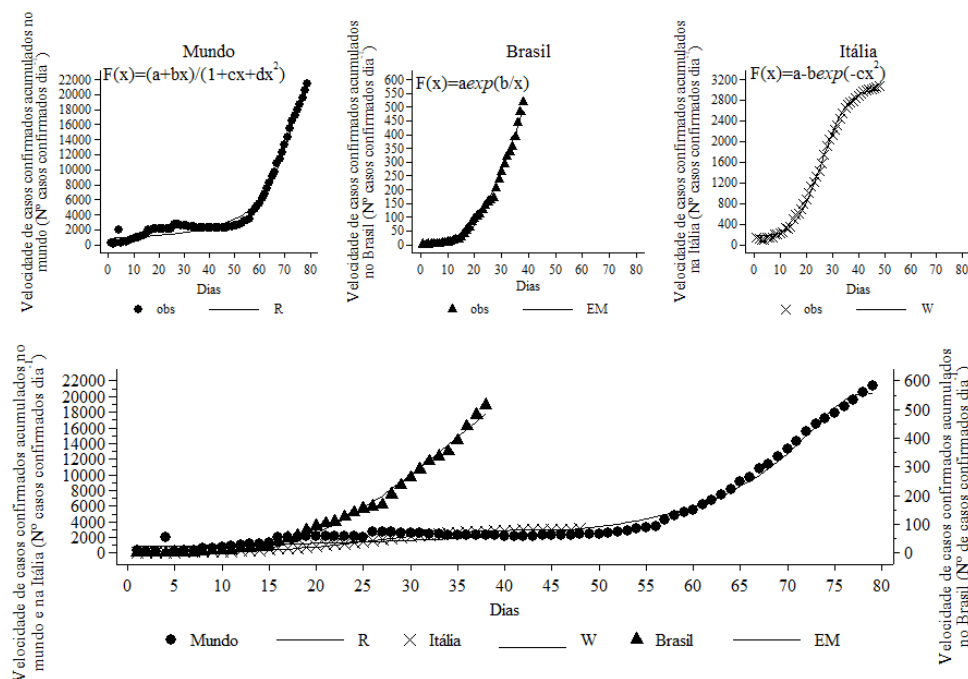
Local	Modelo	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}	
Mundo	R	a	860,7408	80,9770	10,63	<0,001	699,4264	1022,055
		b	-7,0868	1,6309	-4,35	<0,001	-10,3357	-3,8379
		c	-0,0248	0,0002	-129,84	<0,001	-0,0252	-0,0244
	HD	d	0,0002	2,12E-6	73,83	<0,001	0,00015	0,00016
		a	-32,3520	4,1532	-7,79	<0,001	-40,6239	-24,0801
		b	0,2512	0,0625	4,02	<0,001	0,1267	0,3758
Brasil	EM	c	531,6077	107,3305	4,95	<0,001	317,8405	745,375
		a	4265,095	334,0268	12,77	<0,001	3587,657	4942,533
	PV	b	-82,4662	2,5426	-32,43	<0,001	-87,6228	-77,3096
		a	-4,6924	0,9626	-4,87	<0,001	-6,6466	-2,7382
		b	3,0878	6,0718	0,51	0,614	-9,2387	15,4143
		c	2,9829	0,2227	13,39	<0,001	2,5308	3,4350
Itália	G	a	3052,74	17,4114	175,33	<0,001	3017,671	3087,808
		b	43,4505	0,2836	153,19	<0,001	42,8792	44,0218
		c	15,0889	0,2177	69,31	<0,001	14,6505	15,5274
	W	a	2992,515	16,6549	179,68	<0,001	2958,97	3026,059
		b	2809,911	19,3295	145,37	<0,001	2770,979	2848,843
		c	2,84E-6	5,94E-8	47,77	<0,001	2,72E-6	2,96E-6

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Verifica-se que apenas o modelo PV apresentou um dos seus parâmetros não significativo, ou seja, o parâmetro b foi estatisticamente igual a zero e, portanto, o modelo PV não deve ser utilizado para realizar estimativas (Tabela 2).

Na Figura 2 encontram-se as estimativas realizadas pelos modelos não lineares EM, R e G selecionados como os melhores para modelar em cada local à variável velocidade diária de casos de COVID-19 confirmados no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020. Nela é possível ver o bom ajuste produzido por cada um dos modelos não lineares empregados bem como o comportamento crescente da velocidade diária de casos confirmados de COVID-19 ao longo do tempo.

Figura 2. Ajuste de modelos não lineares à velocidade de casos confirmados de COVID-19 no Brasil (modelo EM), Itália (modelo W) e no mundo (modelo R) até 10/04/2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Desde o primeiro caso confirmado em 29/02/2020 até 10/04/2020 (38 primeiros dias de casos) as medidas de distanciamento social no Brasil, inicialmente incentivadas por estados e municípios, demonstram surtir efeito já que a velocidade média de casos confirmados de COVID-19 foi de 516,79 casos dia⁻¹. Na Itália e no mundo a velocidade média foi de 2784,00 e 2247,45 casos dia⁻¹, respectivamente nos primeiros 38 dias de casos.

Um estudo de revisão realizado por Liu et al. (2020) entre 1º de janeiro de 2020 a 7 de fevereiro de 2020 sobre a transmissibilidade média do vírus da COVID-19, verificou que as estimativas variaram de 1,4 a 6,49, com média de 3,28. Estes resultados indicam que as infecções geradas por uma pessoa infectada, em uma população totalmente ingênua quanto a contaminação, variam de 1,4 a 6,49 com média de 3,28. Ademais, de acordo com Meng et al. (2020), o vírus SARS-CoV-2 é transmitido através de gotículas, contato e entre outras formas.

Com bases nesses resultados, caso as medidas de distanciamento social no Brasil fossem encerradas no dia 10/04/2020 (53º dias desde o primeiro caso confirmado) e a velocidade média de casos confirmados permanecesse constante (516,79 casos dia⁻¹) nos dias seguintes, a taxa de infecção aumentaria vertiginosamente.

Sendo assim, se fosse possível testar a população brasileira a velocidade média de casos confirmados de COVID-19 poderia variar de 723,51 a 3.353,97 casos dia⁻¹. Isso implicaria em 25/04/2020 num quantitativo de casos confirmados de 38.347 a 177.760. No entanto, num cenário realista, a velocidade média de casos confirmados por dia não permaneceria constante, o que aumentaria sobremaneira o intervalo anterior apresentado.

Mesmo as medidas restritivas não encerradas em 10/04/2020 e, apesar de serem mais intensificadas pelas autoridades, não houve uma adesão significativa da população brasileira. Tal fato pode explicar os motivos para que no dia 25/04/2020 a velocidade média diária de casos confirmados de COVID-19 tenha sido de 1.116,91 com um total de 59.196 casos.

Na Tabela 5 encontram-se as estimativas dos parâmetros dos modelos lineares da taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros dos modelos lineares simples aplicados à variável taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

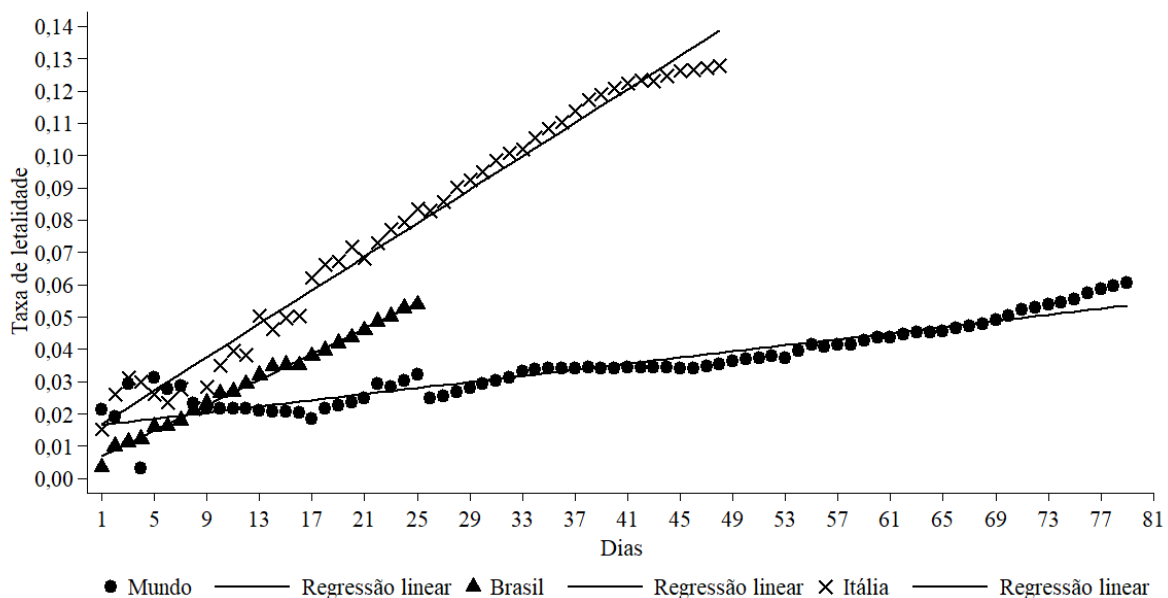
Local	Parâ.	Coef.	EP	t	P > t	IC _{95%}	R ²	R ² _{ajustado}	RMSE
Mundo	a	0,00047	0,00002	24,01	<0,001	0,00043 0,00051	0,8822	0,8806	0,00399
	b	0,01619	0,00091	17,87	<0,001	0,01438 0,01799			
Brasil	a	0,00197	0,00003	60,22	<0,001	0,00191 0,00204	0,9937	0,9934	0,00118
	b	0,00494	0,00049	10,14	<0,001	0,00393 0,00595			
Itália	a	0,00259	0,00005	48,44	<0,001	0,00248 0,00270	0,9808	0,9804	0,00514
	b	0,01425	0,00151	9,46	<0,001	0,01122 0,01728			

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Verifica-se que no mundo, Brasil e na Itália, respectivamente, 88,2; 99,3 e 98% da variação na taxa de letalidade por COVID-19 pode ser explicada pela variação no tempo desde o início da primeira morte confirmada por COVID-19. Ademais, a partir de cada estimativa do parâmetro b dos modelos lineares simples (Tabela 5), temos que para cada dia transcorrido desde o primeiro dia com mortes confirmadas, a letalidade aumentou 1,61; 0,49 e 1,42% no mundo, Brasil e Itália, respectivamente até o dia 10/04/2020.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento linear da taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.

Figura 3. Taxa de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Verifica-se que no Brasil, a taxa de letalidade até o dia 25 (10/04/2020) foi inferior a 5,5%, apesar de tendência de aumento linear com o tempo. Santiago et al., (2020) ao ajustar diferentes modelos de regressão não linear a dados de mortalidade e casos confirmados da COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo verificaram que no Brasil, a taxa de letalidade até o dia 31/03/2020 foi inferior a 4%, apesar de verificarem também tendência de aumento linear.

Estes resultados indicam indícios de aceleração no número de óbitos no Brasil já que num intervalo de dez dias houve incremento de aproximadamente 1,5% na taxa de letalidade, o que exige das autoridades públicas medidas mais efetivas para mitigar os efeitos negativos da pandemia no Brasil.

Quando comparadas as taxas de letalidade por COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo no mesmo período de evolução da doença verifica-se que essa taxa no Brasil foi de 5,37%, no mundo 6,05% e na Itália 12,77%. Salienta-se que esse período correspondeu aos 25 dias transcorridos desde a primeira morte confirmada em cada um desses locais, equivalente a 20/01/2020 a 14/02/2020 no mundo, de 23/02/2020 a 18/03/2020 na Itália e de 17/03/2020 a 10/04/2020 no Brasil.

De acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde, a taxa de mortalidade por COVID-19 em outros países que não a China foi de 0,25%, sendo, portanto, menor que as taxas de mortalidade por SARS (9,6%) e MERS (34%) (Yalan et al., 2020). Além disso, a taxa de mortalidade por COVID-19 na província de Anhui foi de 0,64% (Meng et al., 2020).

4. Considerações Finais

Os modelos não lineares utilizados foram adequados para descrever a velocidade de mortes e de casos confirmados de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo até 10/04/2020. Os resultados obtidos permitem fazer prospecções quanto às velocidades de casos confirmados e de mortes por COVID-19 no Brasil e no mundo e mais que evidenciam o crescimento exponencial com assíntota esperada em algum momento a longo do tempo.

As estimativas para Itália foram assertivas ao demonstrar redução da velocidade do número de mortes a partir do dia 26/04/2020.

No Brasil em comparação com a Itália e o mundo a velocidade média de novos casos confirmados da doença, até o dia 10/04/2020 foi menor, podendo ter como causa provável, entre outros fatores, o isolamento e distanciamento social em prática e fortemente ressaltado pelos gestores dos âmbitos municipais e estaduais.

Em face do curso da doença em diversas regiões do mundo e tempo de início relativamente curto no Brasil, além da influência de outros fatores, tais como o cumprimento das medidas protetivas, do isolamento social e o processo de mutação do vírus, as estimativas aqui apresentadas podem, possivelmente, possuir distorções.

No entanto, à medida que mais dados são obtidos espera-se que os erros de estimativas diminuam e uma imagem mais clara do cenário da doença forme-se para que as tomadas de decisões nas políticas públicas possam basear-se nas inferências menos inequívocas e enviesadas.

Referências

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In *Second International Symposium on Information Theory*, ed. B. N. Petrov and F. Csaki, 267–281. Budapest: Akailseoniai–Kiudo.

El-Aziz, TMA, Stockand, JD. (2020). Recent progress and challenges in drug development against COVID-19 coronavirus (SARS-CoV-2) - an update on the status. *Infect Genet Evol.* 83(1): 104327. doi: 10.1016 / j.meegid.2020.104327.

Jung, S-k, Akhmetzhanov, AR, Hayashi, K, Linton, NM., Yang, Y, Yuan, B, Kobayashi, T, Kinoshita, R & Nishiura, H. (2020). Real-Time Estimation of the Risk of Death from Novel Coronavirus (COVID-19) Infection: Inference Using Exported Cases. *J. Clin. Med.*, 9(2), 523. <https://doi.org/10.3390/jcm9020523>.

Qun, L, Guan, X, Wu, P, Wang, X, Zhou, L, Tong, Y, Ren, R, Leung, KSM, Lau, EHY, Wong, JY, Xing, X, Xiang, N, Wu, Y, Li, C, Chen, Q, Li, D, Liu, T, Zhao, J, Li, M, Tu, W, Chen, C, Jin, L, Yang, R, Wang, Q, Zhou, S, Wang, R, Liu, H, Luo, Y, Liu, Y, Shao, G, Li, H, Tao, Z, Yang, Y, Deng, Z, Liu, B, Ma, Z, Zhang, Y, Shi, G, Lam, TTY, Wu, JTK, Gao, GF, Cowling, BJ, Yang, B, Leung, GM & Feng, Z. (2020). Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. *The new england journal of medicine*, 382,1199-1207. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001316>.

Liu, Y, Gayle, AA, Wilder-Smith, A & Rocklöv, J. (2020). The reproductive number of COVID19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of Travel Medicine*. <https://doi:10.1093/jtm/taaa021>.

Medeiros, AYBV, Pereira, ER, Silva, MCRA & Dias, FA. (2020). Psychological phases and meaning of life in times of social isolation due the COVID-19 pandemic a reflection in the light of Viktor Frankl. *Research, Society and Development*. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3131>.

Meng, L, Honglu, X, Min, Y, Zhirong, L, Xiaoyan, W, Yi, Z, Gong, M, Gan, L, Liu, H, Tausman, W, Qiao, Z, Yanan, D & Tao, FB. (2020). Analysis of the spatio-temporal variation

of the epidemic and the epidemic situation of new coronaviruses in Anhui province. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 54(1): 1-7. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112150-20200221-00150>.

Organização Pan-Americana da Saúde [OPAS] (2020). Folha informativa – COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus). Acesso em 03 de abril de 2020 de: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=6101:covid19&Itemid=875.

Pereira, AS et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em: 9 maio 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Reinholz, M & French, L. (2020). Medical education and care in dermatology during the SARS-CoV2 pandemia: challenges and chances. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. <https://doi:10.1111/jdv.16391>.

Santiago, EJP, Freire, AKS, Cunha Filho, M, Moreira, GR, Ferreira, DSA & Cunha, ALX. (2020). Modelos não lineares aplicáveis à mortalidade e casos de COVID-19 no Brasil, Itália e no mundo. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 9(6): e117963561. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3561>

Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics* 6(1): 461–464.

Song, P & Karako, T. (2020). COVID-19: Real-time dissemination of scientific information to fight a public health emergency of international concern. *BioScience Trends*. <https://doi:10.5582/bst.2020.01056>.

Zalina, MD, Desa, MNM, Nguyen, V-T-V & Kassim, AHM. (2018). Selecting a probability distribution for extreme rainfall series in Malaysia. *Water Science and Technology*, 45, 63-68. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0028>.

Zhao, S, Lin, Q, Ran, J, Musa, SS, Yang, G, Wang, W, Lou, Y, Gao, D, Yang, L, He, D & Wang, MH. (2020). Preliminary estimation of the basic reproduction number of novel coronavirus (2019-nCoV) in China, from 2019 to 2020: A data-driven analysis in the early phase of the outbreak. *International Journal of Infectious Diseases*.
doi:10.1016/j.ijid.2020.01.050.

Yalan, L, Cong, L, Wenzheng, Z & Ping, Y. (2020). Comparison of epidemiological characteristics, preventive measures and control of new coronavirus pneumonia with SARS and MERS [J / OL]. *Medicine*, 1 - 13. Recuperado em 03 de abril de 2020
de: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1293.R.20200215.1149.004.html>.

Winichakoon, P, Chaiwarith, R, Liwsrisakun, C, Salee, P, Goonna, A, Limsukon, A & Kaewpoowat, Q. (2020). Negative Nasopharyngeal and Oropharyngeal Swab Does Not Rule Out COVID-19. *Journal of Clinical Microbiology*. <https://doi:10.1128/jcm.00297-20>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Edgo Jackson Pinto Santiago – 28%

Ana Karla da Silva Freire – 8%

Denise Stéphanie de Almeida Ferreira – 8%

Jackson Freitas de Amorim – 8%

Ana Luíza Xavier Cunha – 8%

Jucarlos Rufino de Freitas – 8%

Antonio Samuel Alves da Silva – 8%

Guilherme Rocha Moreira – 8%

José Ramon Barros Cantalice – 8%

Moacyr Cunha Filho – 8%