PREDICCIÓN DE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-COV-2 EN EL ESTADO DE AMAPÁ, AMAZONAS, BRASIL, POR MODELADO MATEMÁTICO

ARTÍCULO ORIGINAL

DIAS, Neylan Leal¹, SILVA, Edcarlos Vasconcelos da², PIRES, Marcelo Amanajas³, CHAVES, Daniel⁴, SANADA, Katsumi Letra⁵, FECURY, Amanda Alves⁶, DIAS, Cláudio Alberto Gellis de Mattos⁷, OLIVEIRA, Euzébio de⁸, DENDASCK, Carla Viana⁹, LEAL, Simone Delphim¹⁰

DIAS, Neylan Leal. Et al. **Predicción de la propagación del SARS-CoV-2 en el estado de Amapá, Amazonas, Brasil, por modelado matemático.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año 05, Ed. 05, Vol. 06, págs. 73-95. Mayo de 2020. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion

¹ Matemático, estudiante de doctorado en Ingeniería Mecánica - FEB / UNESP-SP. Profesor e investigador del Curso de Matemáticas de la Universidad Federal de Amapá (UNIFAP).

² Matemático, estudiante de doctorado en Salud Pública - FIOCRUZ / RJ. Profesor del Curso de Matemáticas de la Universidad Federal de Amapá (UNIFAP).

³ Físico, Magíster en Física (UFF), estudiante de doctorado en el Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF).

⁴ Historiador, Doctor en Historia Comparada, Profesor e investigador del Curso de Historia, de los Programas de Posgrado en Desarrollo Regional y en Propiedad Intelectual y Transferencia de Tecnología para la Innovación, Universidad Federal de Amapá (UNIFAP).

⁵ Cartas, Maestría en Ciencias de la Educación (UNIFAL) Docente del Instituto Federal de Amapá (IFAP).

⁶ Biomédica, Doctora en Enfermedades Tropicales, Profesora e investigadora del Curso de Medicina de la Universidad Federal de Amapá (UNIFAP).

⁷ Bióloga, Doctora en Teoría e Investigación de la Conducta, Profesora e investigadora de la Facultad de Química, Campus Macapá, Instituto Federal de Amapá (IFAP).

⁸ Bióloga, Doctora en Enfermedades Tópicas, Profesora e investigadora del Curso de Educación Física de la Universidad Federal de Pará (UFPA).

⁹ Teóloga, Doctora en Psicoanálisis Clínica. Ha trabajado durante 15 años con Metodología Científica (Método de Investigación) en la Orientación de Producción Científica de estudiantes de Maestría y Doctorado. Especialista en Investigación e Investigación de Mercados con foco en el área de la Salud.

¹⁰ Matemáticas, Doctora en Modelización Computacional, Profesora e investigadora del Curso de Matemáticas de la Universidad Federal de Amapá (UNIFAP).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis de la propagación del SARS-CoV-2 en Amapá utilizando tres enfoques. En el primero, partimos del modelo ICL para la pandemia aplicado a Brasil para implementar una proyección comparativa lineal para la población de Amapá. El segundo enfoque se desarrolló con la solución a corto plazo del modelo SIR estándar donde se demostró que el comportamiento exponencial típico describe satisfactoriamente los datos de las primeras semanas de la epidemia, pero poco después, se producen discrepancias tempranas debido a una desaceleración repentina en la evolución temporal del número de casos por medidas de aislamiento. Este nuevo régimen se describe adecuadamente con el tercer enfoque, que se basa en el modelo vSIR, que es una variante del modelo SIR. Los resultados presentados permiten, por un lado, una mejor comprensión de los escenarios ya enfrentados por la población y, por otro lado, proporcionan proyecciones a corto plazo que se actualizarán constantemente en el enlace[11].

Palabras clave: COVID-19, pandemia, modelo matemático, vSIR, SARS-CoV-2.

INTRODUCCIÓN

El coronavirus es una familia de virus causantes de infecciones respiratorias que, si bien se registró desde 1937, recién el 31 de diciembre de 2019, luego de los casos registrados en China, se descubrió el nuevo coronavirus e identificó como la causa de la enfermedad denominada COVID-19 que se provoca por el coronavirus SARS-CoV-2 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020b).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor del 80% de los casos pueden ser asintomáticos y el 20% restante a menudo requiere atención hospitalaria y una pequeña porción, aproximadamente el 5%, de estos van a unidades de cuidados intensivos debido a una deficiencia respiratoria grave.(OMS, 2020).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Este hecho se refleja en la condición de transmisión comunitaria instalada a nivel nacional en Brasil, donde aun considerando las bajas pruebas del país y la revisión constante de muertes por COVID-19, la tasa de letalidad promedio ronda el 6% y llega la proyección de casos. el mes de mayo, probablemente, en los seis dígitos, se extendió principalmente en la región sureste. En este sentido, la situación en la región Norte tiene un impacto considerable; a fines de abril, había aproximadamente el 12% de los casos nacionales en números absolutos, lo que se vuelve aún más dramático considerando la proporcionalidad demográfica entre las cinco macrorregiones nacionales (BATISTA *et. al*, 2020b).

A mediados de mayo, tanto la incidencia como la mortalidad por cada 100 mil habitantes en el Norte (245,7) duplicaban las tasas de las regiones más avanzadas en este mismo cuadro, como se muestra en la Tabla 1 (OMS, 2020a).

Cuadro 1. Resumen de casos, defunciones, incidencia y mortalidad de covid-19 Brasil y regiones.

	Casos	Óbitos	Incidência (100 mil hab)	Mortalidade (100 mil hab)
Região Sudeste	10.797	349	36	1,2
Região Sudeste	96.938	7938	108,6	9
Região Centro-Oeste	7.531	171	4602	1
Região Nordeste	81.537	4.673	142,9	8,2
Região Norte	45.277	2.987	245,7	16,2
Brasil	242.080	16.118	114,7	7,7

Fuente: Ministério da Saúde (2020).

RC: 80641

Disponibile: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

En el caso de Amapá, como se puede observar en el Cuadro 2, en el mismo período las cifras presentadas siguieron la tendencia alcista, con un promedio similar al regional sobre mortalidad (14.1 del AP x 16.2 en el Norte), pero con alarmantes cifras en lo que se refiere a la incidencia de casos (467,3 del AP x 245,7 en el Norte). Por lo tanto, existe una urgente necesidad de atención específica a la visible contradicción entre los patrones de incidencia y mortalidad en la región a la luz de la realidad nacional, dado que, considerando la densidad demográfica de la región Norte y el número de casos per cápita, 5 ciudades del norte se encontraban entre las 20 ciudades con las tasas de mortalidad más altas a fines de abril (BATISTA et al, 2020b).

Cuadro 2. Resumen de casos, defunciones, incidencia y mortalidad de covid-19 en la Región Norte y Estados.

Estados	Casos	Óbitos	Incidência (100 mil hab)	Mortalidade (100 mil hab)
AP	3.952	119	467,3	14,1
RO	1.963	74	110,5	4,2
AC	1.997	60	226,4	6,8
PA	13.864	1.239	161,2	14,4
RR	1.791	51	295,7	8,4
TO	1.382	31	87,9	2
AM	20.328	1.413	490,5	34,1
Norte	45.277	2.987	245,7	16,2

Fuente: Ministério da Saúde (2020).

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Dada la configuración de los sistemas de salud pública nacionales y regionales, existen varios factores que, a su vez, están típicamente vinculados a los países en desarrollo - como Brasil - como el bajo número de camas con respiradores o la capacidad de tratamiento intensivo, el retraso tecnológico que influye en la calidad de pruebas, ausencia de equipo de protección personal (EPP), deficiencias en los sistemas sanitarios de las ciudades, saturación del número de personas por dormitorio en viviendas en regiones con densidad demográfica extremadamente alta y la inexperiencia brasileña con situaciones de confinamiento y / o restricción de tráfico - hacer que las proyecciones epidemiológicas e infecciosas sobre COVID-19 sean aún más inciertas. Tales incertidumbres deben observarse, aunque con el debido cuidado, el modelado macroscópico apuntando a la proyección 01 más cercana posible (PIRES; CARVALHO; XAVIER, 2020).

COVID-19 EN AMAPÁ Y LA REGIÓN METROPOLITANA DEL ESTADO

Con la llegada del Coronavirus a Amapá el 25 de marzo de 2020, cuya región metropolitana comprende una población según el IBGE de aproximadamente 845.000 habitantes, repartidos en 16 municipios con una tasa de crecimiento poblacional del 2,02% (IBGE, 2020).

Es importante tener una imagen lo más certera posible, en este sentido, la observación de patrones de comportamiento de circulación de personas, higiene y cuidado con la salud hospitalaria puede influir en la propagación del COVID-19 en Amapá, considerando también los patrones de comportamiento de los valores absolutos. De casos notificados (SVS, 2020).

Tangenciados por la propagación desenfrenada del nuevo coronavirus en Amapá, pensemos en familias alienadas de la fuerza laboral y en aislamiento social, impedidas de ejercer su profesión. En estas condiciones, la única solución es esperar a que pase la enfermedad, provocando otros problemas como ansiedad,

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

depresión, estrés postraumático, irritabilidad, entre otros impactos psicológicos de la cuarentena. Por su respuesta a los impactos negativos, las personas también sufrieron hechos predictivos como: miedo, tristeza, culpa, confusión, por no poder encontrar una solución de trabajo o pasatiempo por sí mismos. Parte de estos contextos psicológicos mencionados es perceptible en todas las clases y niveles sociales del Estado de Amapá, comenzando principalmente por los profesionales de la salud que laboran y están siempre a la vanguardia de los centros de atención que resultan inadecuados e insuficientes por años vividos detrás de un sistema político alarmante. de la desigualdad democrática (BROOKS, 2020).

En la catalogación que existe en los distintos niveles de grupos sociales urbanos y periféricos del estado de Amapá, una ciudad como Macapá y Santana son los dos municipios donde se concentra más la enfermedad. De acuerdo con la Superintendencia de Vigilancia en Salud SVS, este comunicado investigado se basó en el período del 14 al 27 de abril, mostrando siempre las características concentradoras del COVID-19 en el centro de la ciudad de Macapá, donde todo comenzó, esto se debe a personas que viajó al exterior del estado y regresó. Se concluye que entonces el efecto de la expansión de la contaminación lo dan personas importadas que llamaremos Clase A y B (Criterio de Clasificación Socioeconómica). En parte opuesto a las confirmaciones del epicentro bajo presión del COVID-19 en el centro de Macapá, está Santana que ratifica sus estadísticas de concentración en todas las áreas urbanas y periféricas posibles de desplazamiento interurbano necesario por motivos familiares, residencial o no (contacto directo) , incluso con las medidas de contención aplicadas por barreras sanitarias. Este panorama será presentado por el grupo de personas de Clase C, D, E, enmarcado en la dependencia del uso del transporte público y privado (SVS, 2020).

En esta idea comentada anteriormente, hemos integrado un modelo marco para las relaciones de clases o grupos sociales de aislamiento, medido por ingresos y bienestar entre la gente de Amapá (IN LOCO, 2020).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Tabla 3. Relación comparada de aislamiento social por grupo socioeconómico.

Grupos Sociais por Classe	Isolamento Social	Bem Estar Social	Cidade
A e B	40% em casa respeitando o decreto	Variante conforme o comportamento da equidade do início da pandemia	Macapá
C, D e E	60% não respeitando o decreto de isolamento social	Invariante conforme até um ponto convergente das informações de prevenção dada do início da pandemia	Macapá, Santana e demais Municípios do Estado

El escenario de la tabla es solo una pequeña demostración de la realidad del comportamiento social de la población de Amapá, en cuanto al valor de su responsabilidad de mantener su bienestar a partir de la vigencia del decreto establecido por las agencias del gobierno estatal. Acariciados en casa por la noticia serializada por la pandemia, la imagen muestra al 40% de las clases A y B dispuestas a cumplir con el aislamiento, parte de este cumplimiento se debe a que estas personas tienen empresas, trabajos y salarios fijos de servidores públicos en carrera. A diferencia de las otras clases sociales restantes C, D y E, existe un criterio del estándar salarial combinado entre las partes que contribuyen al ingreso fijo familiar (dependencia financiera) y los trabajos temporales formales e informales para el bienestar esperado, independientemente de sea o no servidor público de carrera o formación académica. Esta es la razón de la creciente ruptura del aislamiento social, que alcanza el 60% con tendencia a crecer aún más durante los meses actuales (IBGE-AMAPÁ, 2020).

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Luego de la validación de los hechos en cuestión de cada clase social que interviene por razones pluralistas, la figura 1 se esboza de forma generalizada que demuestra el índice de irresponsabilidad de la población respecto al aislamiento social en el Estado de Amapá Cidade de Macapá Capital y otros Municipios en el período de enero 30 al 14 de mayo de 2020 con tendencia a variar, dividir o retroceder (IN LOCO, 2020).

Figura 1. Índice de aislamiento social de Amapá del 30 de enero al 14 de mayo.

Fuente: In Loco (2020).

Los análisis estadísticos de aislamiento social, aún son variantes inciertas de lo acordado en la práctica por la población de Amapá, aún se espera la variación desde el período de la gráfica hasta el 14 de mayo de 2020, considerando el cumplimiento de quedarse en casa y salir solo en caso de necesidad o emergencia. Las acciones de las barreras de inspección sanitaria serán la base para controlar el intenso flujo de personas alrededor de la ciudad. E incluso si hay suficientes casos sintomáticos sospechosos del virus así informados, el resultado incontrolable esperado todavía está siendo monitoreado. (SVS, 2020)

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

OBJETIVO

Esta investigación tiene como objetivo analizar la incidencia de casos confirmados de COVID-19 en Amapá / AP utilizando métodos estadísticos y modelos matemáticos con el fin de comprender la dinámica de contagio del virus, proporcionando información para promover una estrategia de combate más efectiva contra el covid-19.

Entre otras especificaciones de conducción, se pretende verificar el comportamiento forzado de restricción social en el ámbito público y doméstico, dado como una de las condiciones de atención prioritaria para la reducción de la proliferación del contagio por el Coronavirus.

METODOLOGÍA

En general, se han empleado dos enfoques de modelado para obtener *insights* sobre la evolución de la epidemia relacionada con Sars-CoV-2. Por un lado, existe un esfuerzo por desarrollar modelos sofisticados que tomen en cuenta varias variables que pueden describir la dinámica de la epidemia. Este enfoque se utilizó, por ejemplo, en Zhang (2020) con un sistema de 15 ecuaciones diferenciales. Por otro lado, también se ha adoptado una visión matemática centrada en las principales características epidémicas del proceso contagioso de éxito de la curva epidémica del coronavirus a través de versiones primarias o extendidas de los modelos SIR (TODA, 2020; KATUL, 2020; ZHONG, 2020).

El modelo epidemiológico SIR propuesto por Kermack y McKendrick en 1927 (HETHCOTE, 2000) es uno de los modelos clásicos utilizados para describir la evolución del proceso de contagio de enfermedades infecciosas. Este modelo compuesto por ecuaciones diferenciales emplea la estrategia compartimental y divide, en relación a la enfermedad, la población en individuos que pueden contraerse, individuos que pueden transmitir e individuos que se han recuperado y

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

no están sujetos a una nueva contaminación denominada susceptibles (S), infectados. (I) y recuperado (R) respectivamente.

Matemáticamente, un modelo SIR se puede representar usando las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N},$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I,$$

01

Donde β es la tasa de transmisión de la enfermedad, γ es la tasa de recuperación de los individuos, ambos son parámetros positivos y característicos de los datos bajo análisis.

Para optimizar y estimar estos parámetros para que los casos reportados y simulados sean aproximadamente iguales, se utilizan valores iniciales para las variables de tres estados $S(0)$, $I(0)$ y $R(0)$.

El valor inicial $S(0)$ es la comunidad de población afectada por el brote, mientras que $I(0)$ es el número de casos confirmados que pueden tener cualquier valor, pero no cero. Podemos establecer $R(0)$ en cero si las horas de inicio de la simulación y la propagación son las mismas. La tasa de transmisión se reduce monótonamente con el tiempo (HARKO, 2014).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Resolviendo el sistema (1) determinamos la función solución para la población susceptible y obtenemos (BATISTA, 2020).

$$S = S_0 \exp \left[-\frac{\beta}{N\gamma} (R - R_0) \right] \quad 02$$

Entre los parámetros relevantes utilizados en modelos epidemiológicos como el SIR se encuentra la reproducibilidad de línea de base que proporciona R_0 (conocida como tasa de reproducción) definida por $R_0 = \beta/\gamma$. La tasa R_0 se ve afectada, entre varios factores, por el número de personas susceptibles en la población con la que los pacientes afectados están en contacto y puede describirse como el número promedio de personas que están infectadas por un solo individuo (DELAMATER et al, 2019).

Según Ghani y Ferguson (2020), el valor R_0 para COVID-19 ha variado entre 1 y 7 (más precisamente 1,1 a 6,95) a lo largo del desarrollo de la epidemia. Como indican Delamater et al (2019), un $R_0 < 1$ demuestra que el número de infectados disminuye con el tiempo y la epidemia tiende a erradicarse, por lo que Los valores de $R_0 < 1$ significan que la epidemia debe persistir en la población durante un período prolongado.

Así, tomando el límite cuando t tiende a infinito, el número de personas susceptibles obtenido es:

$$S_{\infty} = S_0 \exp \left[-\frac{\beta}{N\gamma} (R_{\infty} - R_0) \right] \quad 03$$

Dónde está la cantidad final de recuperado. Teniendo en cuenta que el número final de personas infectadas es cero, tenemos:

$$N = S_{\infty} + R_{\infty} \quad 04$$

De (03) obtenemos

$$R_{\infty} = N - S_0 \exp \left[-\frac{\beta}{N\gamma} (R_{\infty} - R_0) \right] \quad 05$$

Suponiendo que los datos disponibles son una serie de tiempo del número total de casos $C = R + I$, los parámetros y valores iniciales se definen minimizando la diferencia entre los valores actuales y los números de casos calculados:

$$\|C_t - \hat{C}_t(\beta, \gamma, S_0)\|^2 = \min \quad 06$$

donde $C_t = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ es el número de casos en el tiempo $t = 1, 2, \dots, n$ y el vector corresponde a los valores estimados en los mismos puntos de tiempo que el reportado valores. La minimización en cuestión se obtuvo mediante la función *fminsearch* de MATLAB según Batista (2020).

Enfatizamos que en el enfoque antes mencionado hay tres parámetros a estimar, a saber, $\{\beta, \gamma, N\}$ donde N es el tamaño efectivo de la población. Denotamos esta variante con el acrónimo vSIR para diferenciarla del modelo SIR estándar donde N es el tamaño total de la población que es una cantidad definida a priori. Computacionalmente, la solución numérica del sistema de ecuaciones vSIR se implementa con el software MATLAB utilizando el método explícito de Runge-Kutta de cuarto orden (BATISTA, 2020).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Todos los análisis con el modelo matemático de este estudio se realizaron con datos de casos confirmados de covid-19 para el estado de Amapá, puestos a disposición por la Secretaría de Salud del Estado y el Ministerio de Salud de Brasil, ambos en línea, en el caso de datos secundarios, por esta razón, no fue necesario registrar la investigación en un comité de ética.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

ANÁLISIS DEL PROYECTO DEL MODELO IMPERIAL COLLEGE LONDON

Presentamos en este tema algunas proyecciones locales realizadas con el modelo del *Imperial College of London* (ICL), que buscaba orientar las políticas públicas de emergencia en el control epidemiológico-infeccioso de COVID-19 para los países afectados, obviamente todos los modelos deben estar atentos en un momento inmediato a la expansión transoceánica de la pandemia, considerando los agravantes que ocurren en cada región.

Por lo tanto, el "Modelo ICL" describe los cinco escenarios de la siguiente manera:

- A) Una epidemia sin paliativos: un escenario en el que no se toman medidas.
- B) Mitigación, incluida la distancia social a nivel de población: evaluamos la reducción máxima en la escala final de la epidemia que se puede lograr mediante una reducción uniforme en la velocidad a la que los individuos se comunican, con la excepción de la supresión completa.
- C) Mitigação, incluindo maior distanciamento social dos idosos – como (B), mas com indivíduos com 70 anos ou mais, reduzindo suas taxas de contato social em 60%.
- D y E) Supresión: exploramos diferentes desencadenantes epidemiológicos (muertes por cada 100.000 habitantes) para la implementación de un desapego

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

social intensivo a gran escala (modelado como una reducción del 75% en las tasas de contacto interpersonal) con el objetivo de suprimir rápidamente la transmisión y minimizar el cortocircuito. casos de término y muertes.

Para estos escenarios, no producimos estimaciones de tamaño final, pero ilustramos su impacto en configuraciones representativas. Para Tardia, se considera realizar pruebas masivas, aislar casos positivos y monitorear a personas cercanas a las diagnosticadas desde 1,6 muertes por cada 100 mil habitantes por semana. Para Precoce, las mismas medidas que antes, pero adoptadas a partir de 0,2 muertes por cada 100 mil habitantes por semana (GHANI; FERGUSON, 2020).

Los escenarios expuestos por ICL para una población en Brasil de más de 200 millones de personas en la actualidad, se extrapolan (debido a la premisa fundamental de minimizar los impactos para la población) son los siguientes: Escenario A - Sin medidas de mitigación; Escenario B - Con distancia social de toda la población. En el Escenario A, la situación brasileña es imprudente y, según el escenario, con porcentajes de personas infectadas que varían desde el 88% y disminuyen hasta el 5% de la población, hasta el número de muertes que van del 1% al 0,02%. También hay un tercer escenario - C - que trabaja con la distancia social y refuerza la distancia entre los mayores. Finalmente, se consideran los escenarios D y E, correspondientes a supresión tardía y temprana, respectivamente, encontrándose entre los escenarios catastróficos, los de menor destrucción cuantitativa, como se puede observar a continuación.

Construimos, en aras de la apreciación, la siguiente proyección nacional, según el Modelo ICL.

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Cuadro 4 Proyecciones para Brasil según el modelo ICL

	A	B	C	D	E
	Não mitigada	Mitigação	Mitigação com ênfase em idosos	Supressão tardia	Supressão precoce
População Infectada	188 Mi	122 Mi	120 Mi	50 Mi	11 Mi
% infectados	88	57	57	23	5
Mortes	1.15 Mi	620.000 aprox	530.000 aprox	206.000 aprox	44.000 aprox
% mortes	1	0,3 aprox	0,25	0,1	0,02
Necessitando internação	6.2 Mi	3.5 Mi	3.2 Mi	1.1 Mi	250.000 aprox
Necessitando UTI	1.5 Mi	830.000 aprox	700.000 aprox	97.000 aprox	57.000 aprox

Fuente: Producido por los autores con datos de investigación.

A finales de marzo, el escenario actual apuntaba a una aceleración en el número de casos detectados, aproximadamente una semana después de las tensiones en torno al encierro, como se puede apreciar en la siguiente proyección. Los datos del Ministerio de Salud, que consolidan las Secretarías de Salud de los Estados, apuntan a 5.812 infectados y 202 fallecidos en el día 36 del Primer Caso Confirmado. Pasaron 22 días hasta el caso número 500, y desde entonces hasta el caso 1000 solo tomó 2 días, duplicándose en tres días (2000) y llegando al doble de 2000 en 5 días. En los últimos 15 días de marzo, por tanto, hubo una fuerte aceleración (PRADO, M. et al., 2020).

Ya se reconoce que Brasil vive un escenario de subregistro desde el inicio de la pandemia, con una tasa de notificación estimada en Amapá en torno al 11,2%, como se señala en un estudio de la primera quincena de abril (PRADO et al., 2020). Este factor se puede observar debido a los problemas de planificación para el 'estallido' de la crisis -a pesar de que está previsto desde la última semana de enero, cuando

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

la proliferación comenzó a superar al continente asiático- y la escasa cantidad de pruebas. que a su vez, se aplican mayoritariamente a individuos sintomáticos, desconociendo el enorme potencial de contaminantes asintomáticos; es decir, que ya han sido infectados por el virus, pero que no presentan síntomas, se sienten cómodos para el tráfico libre y mejoran la transmisión. También se deben sopesar factores como las tensiones desde finales de marzo en torno a una parte significativa de la población que se opone al confinamiento o minimizar sus efectos, lo que hace que el carácter elástico e informal de las promociones de libre circulación sea un lastre. Previo (PRADO et al., 2020).

En el caso de Amapá, en marzo ya se observaba la posible escalada, aunque mantenida en esa progresión actual, para los casos nativos - ya en transmisión comunitaria (AMAPÁ, 2020a) - debido a los retrocesos con la autorización para pruebas locales (autorizadas solo en 27/03 - y con la reducción del tiempo de progresión desde el 26 de marzo. Respecto al mes de marzo, entre el 19 y el 24 de marzo registramos 1 caso por 5 días, entre el 25 de marzo al 26 de marzo, pasamos al 2º caso ; entre el 27/3 y el 28/3, pasamos a 3, 3/3, 6 casos, 3/30, 8 casos y 3/31, 10 casos. En abril, la tasa observada de casos aumentó en riesgo de falta de control ambiental (AMAPÁ, 2020a)

También considerando que las últimas proyecciones del IBGE se refieren a una población de 845.000 personas estimada para Amapá (IBGE, 2020), si se proyecta el modelado de ICL para el estado, de manera lineal frente al escenario nacional, que en sí mismo ya representa otro más. factor de distorsión: tendríamos el siguiente escenario de predicción, severamente extrapolado para ser acumulado durante todo el primer ciclo epidemiológico de propagación de COVID-19 a continuación:

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Tabla 5. Proyección lineal comparativa del modelo ICL p. COVID-19 aplicado a Brasil por Amapá.

	A	B	C	D	E
	Não mitigada	Mitigação	Mitigação com ênfase em idosos	Supressão tardia	Supressão precoce
População Infectada	743.000 aprox	480.000 aprox	480.000 aprox	194.000 aprox	42.000 aprox
% infectados	88	57	57	23	5
Mortes	8.400 aprox	2.500 aprox	2.100 aprox	845	160
% mortes	1	0,3	0,25	0,1	0,02
Necessitando internação	22.000 aprox	12.000 aprox	11.000 aprox	3.600 aprox	1500 aprox

Fuente: Producido por los autores con datos de investigación.

Debido al Decreto del Gobierno del Estado de Amapá (GEA) No. 1414/2020, que promovió una amplia reducción de las actividades económicas, sociales y culturales, y la amplia adopción de acciones a favor de la desconcentración de las personas, escenario A se descarta de forma inminente en la extrapolación siempre que se mantenga el aislamiento. La preocupación fundamental pasa a ser, de manera contundente, el mantenimiento del aislamiento con medidas de contención inteligente de los flujos para evitar la indisciplina social en relación a esto, para mitigar en la medida de lo posible los patrones del escenario B y C para acercarse al escenario realista D, de supresión tardía - lo que haría, en números absolutos, la crisis navegable en Amapá, dada su densidad demográfica y su contingente poblacional. El motivo del optimismo está a favor de la rápida actuación de los ayuntamientos metropolitanos y principalmente del gobierno estatal; sin embargo,

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

las condiciones técnicas de notificación, así como las cuantitativas y cualitativas de las instalaciones y camas para hospitalización o tratamiento intensivo, sugieren una emergencia cuando finalmente se confirma una proliferación de casos. Por esta razón, se consideró que la mejor opción era contener la transmisión comunitaria. Los pronósticos presentados en una proyección por un equipo conjunto de la Fundación Getúlio Vargas y la Fundación Oswaldo Cruz (FGV / Fiocruz) apuntan de manera convergente hacia los efectos positivos de la combinación de restricciones sociales y de transferencia con respecto a la próxima ola nacional acumulada a lo largo de la primera etapa epidemiológica. ciclo de propagación de COVID-19 (ZORZETTO, 2020).

Es importante reiterar la preocupación por las evidentes adaptaciones del modelado ICL en relación a las características socio-culturales y socio-económicas de nuestro país. Al mismo tiempo, los datos de los escenarios de modelado de ICL son números extrapolados y pueden, en este sentido, constituir una exageración. En este sentido, de manera preventiva, verificando la propensión para los próximos días de multiplicación de casos nacionales y la implantación aún vigente del sistema de pruebas local y la inminente llegada de exámenes de prueba rápida, que probablemente sean insuficientes y centrarse en la población sintomática que retrasa la mejora de cualquier proyección debido al período de incubación inmediato al contagio y, por lo tanto, enturbia la percepción real del cuadro epidemiológico - se considera probable que la transición del Escenario D al C sea posible. Si se confirma esta transición, las perspectivas de titulación de la ciudad a través de la zonificación del tráfico de personas y mercancías serán inevitables (modelo de confinamiento de Wuhan reforzado por la restricción al tráfico intrazonal) para alcanzar la restricción deseable del 60% al 75%, teniendo en cuenta que el mapeo de casos por La región sería positivamente decisiva para ayudar a contener la transmisión comunitaria con mayor precisión y observar tanto a las personas contaminadas como a las personas mayores. El avance y masificación de las pruebas, el distanciamiento social, la priorización de la localización de pacientes

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

ancianos y comórbidos, así como el aislamiento de los diagnosticados, son determinantes en este sentido (ZORZETTO, 2020).

MODELADO VSIR PARA EVALUAR LA CURVA DE CASOS ACUMULADOS DE COVID-19 EN AMAPÁ

La serie temporal con casos confirmados de covid-19 para el estado de Amapá pertenece a la sección del 25 de marzo al 12 de mayo. En este período, el referido Estado presentó la siguiente evolución de individuos dados positivo, mortalidad y recuperados:

Figura 2. Casos confirmados de covid-19 (A). Evolución de la mortalidad (B). Casos recuperados (C).

Como se muestra en la figura 2, en (A), Amapá tardó 50 días en dejar 1 caso para 2910 (25/03 al 12/05). A la fecha de cierre del estudio, el estado tenía una de las tasas relativas más altas de casos con alrededor de 355,3 por cada 100.000 habitantes, llamando la atención de todo el país por ser un estado con menos de 1 millón de habitantes.

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Con base en este escenario, al inicio de la evolución temporal de la epidemia para Amapá, podemos asumir $S \cong N$. Por lo tanto, la ecuación para dI / dt en el sistema (1) se convierte en:

$$\frac{dI}{dt} \cong (\beta - \gamma)I = \gamma(R_0 - 1)I \quad 07$$

Donde $R_0 = \beta/\gamma$. Después de una integración directa obtenemos

$$I(t) \cong I_0 e^{(R_0 - 1)\gamma t} \quad 08$$

Para obtener una primera estimación de R_0 , aplicamos una linealización de la ecuación anterior. De esta forma obtenemos $\log(I(t)) = mt + \log(I_0)$, donde tenemos la pendiente $m = \gamma(R_0 - 1)$. El ajuste con las herramientas estadísticas del lenguaje de programación R proporciona $m = 0.21547 \pm 0.01163$. Con base en la literatura (TODA, 2020; LI, 2020; READ, 2020) asumimos γ en el rango $[0.1, 0.6]$. Con esto tenemos una estimación preliminar de R_0 entre $[1.340, 3.271]$, que es un rango comparable con los valores reportados en las tablas resumen de los artículos de revisión sobre R_0 (LIU, 2020; ALIMOHAMADI, 2020).

En cuanto a la fase de crecimiento exponencial de los casos de covid-19, en la Figura 3 existe una concordancia satisfactoria entre los datos observados y el pronóstico teórico (curva roja) hasta el 14 de abril. Sin embargo, inmediatamente después hay una discrepancia temprana entre el *fit* preliminar y los datos, lo que plantea interrogantes sobre el motivo de tal comportamiento. Una posible justificación de este cambio de tendencia surge de la percepción de que el período coincide con el inicio de las políticas públicas para evitar el contagio. Entre ellos, se encuentra el Decreto No. 1497 de 3 de abril de 2020 del Gobierno del Estado de Amapá que determina de manera inmediata el aislamiento social y la suspensión de

los servicios considerados como aglomeración física, resultando en nuevos horarios de apertura y manteniéndose únicamente establecimientos de extrema necesidad. abierto. Así, se observa que las medidas de aislamiento inciden en el número de casos, luego de la demora de dieciséis días relacionada con el período de incubación.

Figura 3. Crecimiento exponencial inicial

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/prediccao-de-la-propagacao>

Si bien la figura 3 presenta un análisis a corto plazo con ajuste exponencial (25 de marzo al 14 de abril), en análisis posteriores se comparan los datos confirmados de la epidemia con el modelo matemático estándar SIR y la variante empleada por Batista (2020) (que llamamos vSIR, por brevedad).

Figura 4. Simulación de VSIR e intervalo de confianza

La simulación del modelo vSIR desde el 25.03 hasta el 12.05.2020 que se muestra en la Figura 03 muestra el intervalo de confianza (IC) que define los límites inferior y superior de los valores simulados para dar una probabilidad del 95% de incluir el valor real de casos predictivos. Hay dos puntos atípicos que ocurren el 1 de mayo de 2020 y el 2 de mayo de 2020, viernes y sábado respectivamente. Estas fechas que involucran el feriado nacional del día del trabajo y cuyo número de infectados no cumple con las expectativas plantean interrogantes que involucran el método procesal de recolección de información que será investigada posteriormente a partir de un análisis de datos in loco. También es de destacar que el modelo fue calibrado en base a los datos reales de personas infectadas desde el inicio de la pandemia en el estado.

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/prediccao-de-la-propagacao>

Figura 5. Curva de predicción de casos hasta el 31.05.2020

Es posible observar en la figura 5 la curva de predicción de casos de Covid-19 en el estado hasta el día 31.05. Parece que, hasta el día 17.05 (domingo), el modelo estima que el estado tendrá el número de casos infectados cercano a los 4 mil (3651-4036), en la siguiente semana del día 24.05 este número estará cercano al 5.000 casos (4700-5196), y finalmente hasta finales de mayo, el 31 de mayo, estos valores giran en torno a los 5.500 casos (5469-6044). que es casi el doble de lo que se registró el 12.05. El área verde de 12.05 a 24.05 representa las fechas en las que el modelo es más efectivo en la predicción (fechas de cierre), mientras que el área roja representa las fechas en las que el modelo puede fallar en la predicción (BATISTA, 2020).

Los parámetros estimados para los datos de Amapá, utilizando la programación *fminsearch* de MATLAB, desarrollado por Batista (2020), fueron los siguientes:

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Tabla 6. Parámetros estimados en el modelo Vsir.

R_0	β	γ
2.11	0.216	0.102

El valor estimado de la tasa de reproducción básica R_0 está de acuerdo con los valores reportados por la literatura especializada en revisión sistemática y metadatos como en Liu (2020) y AliMohamadi (2020). En el gráfico de la figura 04 también se observa un valor = 7166, que es una proyección del número de casos para los días posteriores a los datos disponibles. A pesar del nombre, no se refiere a la cifra final esperada si los datos disponibles aún se encuentran en las etapas inicial e intermedia de la evolución epidémica, como es la situación actual de los datos en la AP. Como veremos a continuación, el modelo vSIR proporciona pronósticos de 5 a 10 días en línea con los datos observados.

En la tabla 7, es posible observar los valores predichos de casos, con un IC del 95%. Cabe mencionar que estos valores son válidos si no hay cambios en las políticas públicas, o en las actitudes individuales significativas, hacia medidas más duras en relación al aislamiento.

Tabla 7. Predicción del número de infectados por día.

Data	Intervalo de casos previstos	
	Mínimo	Máximo
13.05.2020	2975	3288
14.05.2020	3146	3477
15.05.2020	3316	3665
16.05.2020	3485	3852
17.05.2020	3651	4036
18.05.2020	3815	4216
19.05.2020	3975	4394
20.05.2020	4130	4565
21.05.2020	4281	4732
22.05.2020	4427	4893
23.05.2020	4567	5048
24.05.2020	4700	5196
25.05.2020	4829	5338
26.05.2020	4951	5472
27.05.2020	5055	5600
28.05.2020	5176	5721
29.05.2020	5280	5835
30.05.2020	5377	5944
31.05.2020	5469	6044

Fuente: Elaborado por los autores con datos de investigación.

Considerando la tabla de pronóstico de casos acumulados de infectados por covid-19 en Amapá, al 31 de mayo de 2020, el modelo predice que el Estado puede tener

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

entre 5469 a 6044 casos acumulados. Teniendo en cuenta la p -proporción actual de letalidad calculada para esta unidad federativa, el día 12 (último día de datos reales recogidos) su valor era $p = 2,95\%$. Manteniendo este nivel, el 31 de mayo podríamos tener entre 161 y 178 muertes por la enfermedad.

En cuanto al número básico de reproducción R_0 , el modelo vSIR también generó una serie temporal para el seguimiento diario de la evolución de R_0 . El seguimiento diario tiene como objetivo comprender la magnitud detallada de la evolución de la enfermedad, además de ser un indicador de público no farmacéutico políticas para COVID-19.

Figura 6. Evolución diaria de R_0 .

La evolución diaria de R_0 muestra que los valores más bajos ocurrieron entre el 26 de abril ($R_{0\ 26/04} = 1.12$) al 3 de mayo ($R_{0\ 03/05} = 1.1$) este período de bajo R_0 puede estar indicando que el decreto gubernamental del 03 de abril contribuyó a reducir la tasa básica de reproducción, pero no lo suficiente para reducirla a menos de 1, que es ideal para controlar la epidemia. A partir del 3 de mayo, R_0 volvió a subir, quedando el 12/5 en 2,11, este aumento puede indicar relajación de la cuarentena

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

por parte de la población, cuya relación con R_0 es inversa, reduciendo la cuarentena, R_0 y viceversa, como se informa en Dandekar. y Barbastathis (2010).

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Mientras que en el modelo SIR solo hay dos parámetros a estimar (a saber, la tasa de transmisión β y la recuperación γ), en el modelo vSIR tenemos la posibilidad de estimar un parámetro adicional que es el tamaño efectivo de la población N . Con estos tres parámetros $\{\beta, \gamma, N\}$ pudimos describir satisfactoriamente la serie de tiempo para el número de casos confirmados en el estado de Amapá.

Nuestro modelado también se puede mejorar en trabajos futuros considerando las siguientes limitaciones:

- Existe una limitación de la aplicación lineal y generalizada del Modelo ICL, por un lado, y por otro, se deben observar posibles inexactitudes debido a la interdependencia y complejidad de las condiciones específicas del desarrollo humano en Brasil - ya mencionado, tal como concentración demográfica acentuada en decenas de ciudades, precarias condiciones de saneamiento básico en comunidades desfavorecidas, viviendas con residentes por habitación por encima de lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), ausencia histórica de otras experiencias de emergencia sanitaria con medidas de este tamaño y estándar. En otras palabras, Brasil tiene una proporción y condiciones demográficas específicas, lo que hace que los modelos generales sean inexactos.
- El subregistro de casos de covid-19 es un factor que se ha reportado repetidamente en todo el mundo, que en el caso brasileño, debido a la reducida cantidad de pruebas, hace que la incidencia de este factor sea crítica. Por ejemplo, recientemente se estimó ~ 86% (intervalo de confianza del 95%: 82-90%) de subregistro en las primeras etapas de la evolución de la epidemia cuando aún no se habían impuesto restricciones de viaje (LI, 2020).

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

Para Amapá, hay estimaciones que proyectan una tasa de subregistro de ~ 11.2%, según una nota técnica publicada el 11 de abril (BATISTA et al, 2020b).

- El modelo de vSIR no tiene en cuenta el número de casos asintomáticos. Por ejemplo, en el artículo de revisión de (BUIRAGO-GARCIA, 2020) se estimó un límite superior para la proporción de infecciones asintomáticas por SARS-CoV-2 de ~ 29% (intervalo de confianza del 95%: 23-37%). Una estrategia para obtener una estimación de la fracción de casos asintomáticos en Amapá es invertir en realizar pruebas a una proporción masiva de la población.

CONCLUSIONES

En la primera aproximación, se desarrolló una proyección comparativa lineal del modelo de ICL para COVID-19 aplicado a Brasil para Amapá, cuyas conclusiones apuntan a la urgencia de las medidas más tempranas posibles de aislamiento social, considerando la necesidad de evitar contagios masivos y contagiosos. acelerado en la localidad. También buscamos observar las condiciones generales del contexto de la pandemia. Existe una inexactitud en cuanto a la velocidad efectiva de transmisión e infección, aunque rodeada de algún grado de medición, meses después del inicio de una pandemia declarada, implica directamente la observación de los respectivos estándares locales.

El segundo enfoque fue mediado por la solución a corto plazo de las ecuaciones del modelo SIR. Esta solución proporcionó el típico crecimiento exponencial que se mostró acorde con los datos observados hasta el 14 de abril, lo que permitió obtener una estimación preliminar de R_0 entre [1.340, 3.271]. En los días siguientes, se produce una discrepancia abrupta y temprana del *fit* exponencial debido a las medidas de aislamiento adoptadas.

En el tercer enfoque, se aplicó el modelo vSIR a los datos infectados reales. Se verificó que la tasa básica de reproducción R_0 para Amapá es ~ 2.11, evidenciando

RC: 80641

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

que la epidemia en este estado se encuentra en plena expansión, este hecho se agrava aún más por la información de aislamiento social que muestra que el Estado, a la luz de las primeras El decreto de cuarentena llegó al 56% de sus ciudadanos aislados el 5 de abril, sin embargo, ese número bajó al 43% el 12 de abril.

Para que haya una reducción en el nivel de control de la epidemia ($R_0 < 1$), es necesario que la tasa de transmisión β , que ahora está en ~ 0.216 , experimente una reducción de más del 53% para tener R_0 bajo control, que solo es posible con acciones rigurosas para controlar la dispersión de la población para reducir los contactos entre individuos, ralentizando así la interacción entre susceptibles e infecciosos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están particularmente agradecidos a Milan Batista de la Universidad de Ljubljana por sus útiles contribuciones en el uso del código fuente abierto para Matlab y por el apoyo de CAPES y CNPQ en el desarrollo de este trabajo, a través de la concesión de una beca de doctorado y apoyo a la investigación.

REFERENCIAS

ALIMOHAMADI, Yousef; TAGHDIR, Maryam; SEPANDI, Mojtaba. The estimate of the basic reproduction number for novel coronavirus disease (covid-19): A systematic review and meta-analysis. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 2020. Disponível em: <<https://www.jpmp.org/upload/pdf/jpmp-20-076.pdf>> Acesso em: 01/05/2020

AMAPÁ. Painel Coronavírus. [internet].2020a. Disponível em: <<http://painel.corona.ap.gov.br/>> Acesso em: 10/05/2020

AMAPÁ. Superintendência de Vigilância em Saúde – SVC. 2020b. Disponível em: <<https://svs.portal.ap.gov.br/coronavirus>> Acesso em: 14/04/2020.

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

BATISTA, Milan. fitVirusCOVID19. MATLAB Central File Exchange. [Internet]. 2020. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74658-fitviruscovid19>> Acesso em 15/05/2020.

BROOKS, Samantha K.; WEBSTER, Rebecca K.; SMITH, Louise E.; WOODLAND, Lisa.; WESSELY, Simon; GREENBERG, Neil. RUBIN, Gideon James. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*. London, Uk, v. 395, p.912-920, mar. 2020. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)

BUITRAGO-GARCIA, Diana C.; EGLI-GANY, Dianne; COUNOTTE, Michel J.; HOSSMANN, Stefanie; IMERI, Hira; SALANTI, Georgia. LOW, Nicola. *The role of asymptomatic SARS-CoV-2 infections: rapid living systematic review and meta-analysis*. medRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.25.20079103v1>> Acesso em: 10/05/2020

DANDEKAR, R.; BARBASTATHIS, G. *Neural Network aided quarantine control model estimation of COVID spread in Wuhan, China*. 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2003.09403>> Acesso em: 10/05/2020.

DELAMATER, Paul L.; STREET, Erica J.; LESLIE, Timothy F., YANG, Y. Tony; JACOBSEN, Kathryn H. Complexity of the Basic Reproduction Number (R0). *Emerg Infect Dis* 2019;25:1-4 PMC6302597

FERGUSON, Neil M.; GHANI, Azra C.; WALKER, Patrick G. T.; WHITTAKER, Charles; WATSON, Oliver; BAGUELIN, Marc; AINSLIE, Kylie E. C. et al.. The Global Impact of COVID-19 and Strategies for Mitigation and Suppression. 26 mar 2020. *Imperial College London COVID-19 Response Team*. Disponível em: <<https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/mrc-gida/2020-03-26-COVID19-Report-12.pdf>> Acesso em: 14/05/2020.

RC: 80641

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

HARKO, Tiberiu; LOBO, Francisco S. N.; MAK, M. K. *Exact analytical solutions of the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) epidemic model and of the SIR model with equal death and birth rates*. Applied Mathematics and Computation. 236: 184194, 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1403.2160>> Acesso em: 10/05/2020

HETHCOTE, Herbert W. The mathematics of infectious diseases. *SIAM Review*, v. 42, n. 4, p. 599-653, 2000. Disponível em: <<https://epubs.siam.org/doi/abs/10.1137/s0036144500371907>> Acesso em: 10/05/2020

IBGE. *Cidades e Estados: Amapá*. 2020. [internet]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ap.html>> Acesso em: 20.04.20

IN LOCO. *Mapa de Dados*. 2020. [internet]. Disponível <<https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br>> Acesso em 03/05/2020.

MRAD, Assaad; BONETTI, Sara; MANOLI, Gabriele; PAROLARI, Anthony J. *Global convergence of COVID-19 basic reproduction number and estimation from early-time SIR dynamics*. MedRxiv. 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.10.20060954v2>> Acesso em: 01/05/2020

LI, Ruiyun; PEI, Sen; CHEN, Bin; YIMENG, Canção; ZHANG, Tao; YANG, Wan; SHAMAN, Jeffrey. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*, v. 368, n. 6490, p. 489-493, 2020. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/368/6490/489>> Acesso em: 10/05/2020

LIU, Ying; GAYLE, ALBERT A.; WILDER-SMITH, Annelies; ROCKLÖV Joacim. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of travel medicine*, 2020. Disponível em:

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

<<https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taaa021/5735319>> Acesso em: 10/05/2020

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Sobre a Doença Covid-19*. Brasília. 2020. [internet]. Disponível em <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>> Acesso em: 14/05/2020

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Síntese de casos, óbitos, incidência e mortalidade*. Brasília. 2020a. [internet]. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>> Acesso em 15/05/2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 46*. Disponível em <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf?sfvrsn=96b04adf_4#:~:text=For%20COVID%2D19%2C,infections%2C%20requiring%20ventilation.>> Acesso em 16/05/2020

PIRES, L.N.; CARVALHO, L.; XAVIER, L.L. COVID-19 e Desigualdade no Brasil. Centro Brasileiro de Estudos da Saúde. Disponível em <<http://cebes.org.br/2020/04/covid-19-e-desigualdade-no-brasil/>>. Acesso em 16/05/2020.

PRADO, Marcelo; BASTOS, Leonardo; BATISTA, Amanda; ANTUNES, Bianca; BAIÃO, Fernanda, MAÇAIRA, Paula; HAMACHER, Silvio; BOZZA, Fernando. *Nota Técnica 7 NOIS/Puc-Rio: Análise de subnotificação do número de casos confirmados da COVID-19 no Brasil*. <http://www.supersuporte.com/myRpubs/NT7_Subnotificacao_notaDia11-abr-2020.pdf>, Acessado em: 14.05.2020.

PRADO, Marcelo; BASTOS, Leonardo; BATISTA, Amanda; ANTUNES, Bianca; BAIÃO, Fernanda, MAÇAIRA, Paula; HAMACHER, Silvio; BOZZA, Fernando. *Nota Técnica 7 NOIS/Puc-Rio: Evolução da epidemia de COVID-19 no Brasil até 04 de*

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

maio de 2020.

<<https://drive.google.com/file/d/17a9F6WEmCoihJmXF3KMHEI1jWo51xarz/view>>,

Acesso em: 14/05/2020

READ, Jonathan M.; BRIDGEN, Jessica R. E.; CUMMINGS, Derek A. T. HO, Antonia; JEWELL, Chris P. *Novel coronavirus 2019-nCoV: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions*. MedRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/CONTENT/10.1101/2020.01.23.20018549V2>> Acesso em 10/05/2020

TODA, Alexis Akira. *Susceptible-infected-recovered (sir) dynamics of covid-19 and economic impact*. ArXiv:2003.11221, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2003.11221>> Acesso em: 09/05/2020

ZHANG, Yuan; YOU, Chong; CAI, Zhenghao; SUN, Jiarui; HU, Wenjie; ZHOU, Xiao-Hua. *Prediction of the COVID-19 outbreak based on a realistic stochastic model*. medRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.10.20033803v1>> Acesso em: 09/05/2020

ZHONG, Linhao; MU, Lin; LI, Jing; WANG, Jiaying; YIN, ZHE; LIU, Darong. *Early prediction of the 2019 novel coronavirus outbreak in the mainland china based on simple mathematical model*. Ieee Access, v. 8, p. 51761-51769, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9028194>> Acesso em: 09/05/2020

ZORZETTO, R. *A segunda onda do coronavírus*. PESQUISA FAPESP, 2020. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2020/03/30/a-segunda-onda-do-coronavirus/>> Acesso em: 09/05/2020

APÉNDICE - REFERENCIA DE LA NOTA AL PIE

11. <http://www2.unifap.br/matematicaplicada/pagina-exemplo/>

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>

MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO:

2448-0959 [HTTPS://WWW.NUCLEODOCONHECIMENTO.COM.BR](https://www.nucleodoconhecimento.com.br)

Enviado: mayo de 2020.

Aprobado: mayo de 2020.

RC: 80641

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/prediccion-de-la-propagacion>