

# Estimar a Progressão da Ômicron no Estado de Pernambuco

João Pedro Ribeiro da Silva Dias  
*Departamento de Engenharia da Computação*  
CIN - UFPE  
Recife - PE, Brasil  
jprsd@cin.ufpe.br

Rodrigo Santos Batista  
*Departamento de Engenharia da Computação*  
CIN - UFPE  
Recife - PE, Brasil  
rsb6@cin.ufpe.br

Vinícius Sales Oliveira  
*Departamento de Engenharia da Computação*  
CIN - UFPE  
Recife - PE, Brasil  
vso2@cin.ufpe.br

Yasmin Maria Wanderley Soares  
*Departamento de Engenharia da Computação*  
CIN - UFPE  
Recife - PE, Brasil  
ymws@cin.ufpe.br

**Abstract**—In this article we are looking for a way to estimate and understand, through SIRVE model and the observation of some scenarios, how the currently main variant of the SARS-CoV-2, Omicron, tends to present itself in the future, under the influence of vaccination in the state of Pernambuco, Brazil, in order to help in the fight against the Covid-19.

**Index Terms**—Covid, Ômicron, pandemia, vacinação, Pernambuco, progressão, consequências, estudo de cenários

## I. RESUMO

(1) A variante Ômicron do SARS-CoV-2 pode já ser o vírus de mais rápida propagação de toda a história. A informação foi dada pelo médico infectologista norte-americano Roby Bhattacharyya do Hospital Geral de Massachusetts. A nova cepa é dominante em várias nações do mundo e está levando à explosão do número de casos de covid-19.

O médico e pesquisador fez um cálculo entre a Ômicron e o sarampo, um dos vírus mais contagiosos. Ele concluiu que, em um cenário de ausência de vacinação, um caso de sarampo implicaria na origem de mais 15 casos em apenas 12 dias. Ao passo que um caso de Ômicron "criaria" 216 casos no mesmo período. A estimativa significa que, em 35 dias, a Ômicron poderia atingir 280 mil pessoas, enquanto o sarampo afetaria 2.700.

No entanto, em um cenário em que a maioria da população está vacinada ou já teve covid-19 - e, portanto, já possui algum tipo de defesa imunológica-, o especialista estima que um caso de Ômicron dê origem a apenas mais três casos, número semelhante ao do vírus original, ausente de mutações.

Dessa maneira, tornou-se pertinente analisar um cenário onde há persistência viral em uma dada população, tendo em vista suas variantes. Para efeito de simplicidade, trabalharemos, apenas, com a variante mais contagiosa e atual (ômicron), levando em conta os dados locais do estado de Pernambuco(PE).

Partiremos de três premissas básicas para essa análise:

O primeiro caso leva em conta a evolução da doença na taxa atual ao que ela se encontra com a presença da vacinação. Já o segundo caso, é uma análise da doença, caso não houvessem vacinas, e o terceiro caso idealiza um sistema de vacinação mais eficiente e desconsidera a resistência à vacina como elemento profilático e mitigador, fazendo com que mais indivíduos consigam ser vacinados, diminuindo a taxa de infectados e, por conseguinte, de óbitos.

Para realizar essas análises, utilizaremos um modelo variante do SIR, o SIRV, no qual será analisado o número de indivíduos suscetíveis, infectados, removidos e vacinados, para estimar a evolução da doença mesmo na presença das vacinas. Assim como a progressão da taxa de vacinados da população no território de PE. Com isso, o modelo tentará evidenciar que as vacinas, mesmo ainda não tendo 100% de eficácia, são extremamente importantes para achatar a curva de contaminados e mortos, assim como para a mitigar os transtornos causados pelo vírus.

## II. INTRODUÇÃO

### A. O vírus

Coronavírus é um vírus zoonótico, um RNA vírus da ordem Nidovirales, da família Coronaviridae (2). Esta é uma família de vírus que causam infecções respiratórias, os quais foram isolados pela primeira vez em 1937 e descritos como tal em 1965, em decorrência do seu perfil na microscopia assemelhando-se a uma coroa(3). Tendo como parâmetro o ano de 2019, onde ainda não se tinha previsão da proporção da doença e quais as implicações de suas possíveis mutações; foi identificada pela primeira vez em Wuhan, na província de Hubei, China, em Dezembro de 2019. Este vírus causa uma síndrome respiratória aguda grave que pode se tornar potencialmente fatal.

(4) Em 26 de novembro de 2021 (OMS 2021), a OMS designou a variante SARS-CoV-2 B.1.1.529 como uma vari-

ante preocupante (VoC) com base no conselho do Grupo Consultivo Técnico da OMS sobre Evolução de Vírus (VOC). Esta variante recebeu o nome de Omicron. A África do Sul relatou o Omicron à OMS pela primeira vez em 24 de novembro de 2021. Na África do Sul, as infecções foram altas nas últimas semanas, coincidindo com a descoberta do Omicron. No Brasil, a variante Ômicron foi confirmada para o primeira vez no dia 30 de novembro em São Paulo, já em Pernambuco a variante foi detectada entre 26 de novembro de 2021 e 4 de janeiro de 2022.

## B. Variantes

Essas variantes são classificadas em três categorias: de preocupação, de interesse e de monitoramento. As variantes de preocupação são aquelas que apresentam maior risco à população. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), são consideradas variantes de preocupação as linhagens do novo coronavírus que podem se transmitir mais facilmente, são mais resistentes às medidas de controle e prevenção e apresentam maior potencial de causar infecções graves. Em nosso trabalho o foco será justamente nas variantes de preocupação.

Durante o decorrer da pandemia devido a alta taxa de contaminações e a seleção natural em si, novas variantes surgiram promovendo novas ondas de contágio ou até mesmo em alguns casos apresentando uma taxa de letalidade mais elevada, sendo elas:

- Alfa (B.1.1.7): Esta foi a primeira variante de preocupação identificada pela OMS, surgiu no Reino Unido em setembro de 2020, com um total de 22 mutações, esta variante foi a responsável pela segunda onda que assolou os países que formam o Reino Unido e consequentemente a Europa e posteriormente se espalhou pelo mundo.
- Beta (B.1.351): Variante identificada na África do Sul em Dezembro de 2020, se caracterizou como uma variante ainda mais transmissível que a Alfa, porém não apresentando uma maior taxa de letalidade.
- Gama (P.1): Variante identificada em dezembro de 2020, com origem no Brasil. É uma variante que compartilha muitas semelhanças com a Beta, sendo assim apresentando altas taxas de contaminação.
- Delta (B.1.617.2): Variante detectada na Índia, apresenta mais de 12 mutações, sendo de maior atenção às alterações nas spikes e na proteína L452R, que possibilitam a variante enganar o sistema imunológico e dar início a infecção, além disso também apresenta uma taxa de infecção mais elevada que as variantes Gama e Beta.
- Omicron (B.1.1.529): Variante descoberta em 24 de Novembro de 2021, na África do Sul, se apresentou como uma variante altamente transmissível e que rapidamente se tornou predominante em todas as partes do mundo, porém apresentou um perfil de hospitalizações menor.

## C. A vacinação e as vacinas

(12) Atualmente existem quatro formas para uma vacina contra Covid-19 ser disponibilizada no País: registro, uso emergencial, importação excepcional ou pelo consórcio Covax Facility. No que diz respeito às vacinas aprovadas pela ANVISA - órgão regulador, avaliador e comprovador das vacinas bem como seus atributos, tais quais qualidade, eficácia e segurança -, temos quatro vacinas:

- Comirnaty (Pfizer/Wyeth):
  - Quantidade de doses para imunização: duas doses.
  - Recomendação: A segunda dose deve ser aplicada com um intervalo maior ou igual a 21 dias após a primeira.
  - Faixa etária autorizada: a partir de 5 anos.
  - Data da Concessão do Registro: 23/02/2021
  - Eficácia':
    - \* 95% : prevenção de infecções
    - \* 91,3% : prevenção de doença sintomática
    - \* 95,3% a 100% : prevenção de doença grave
  - Efetividade":
    - \* 90% : pessoas de 18 a 35 anos (infecção)
    - \* 77% : pessoas de 35 a 64 anos (infecção)
- Coronavac (Butantan):
  - Quantidade de doses para imunização: duas doses.
  - Recomendação: Para adultos, a segunda dose deve ser aplicada entre 2 e 4 semanas após a primeira. Já para crianças o intervalo é de 28 dias.
  - Faixa etária autorizada: a partir de 6 anos.
  - Data da aprovação para uso emergencial: 17/01/2021
  - Eficácia':
    - \* 51% : prevenção de casos sintomáticos
    - \* 100% : prevenção de doença grave
    - \* 100% : prevenção de hospitalização
  - Efetividade":
    - \* 67,4% : prevenção de doença sintomática
    - \* 83,3% : prevenção de hospitalizações
    - \* 83% : prevenção de morte
- Janssen Vaccine (Janssen-Cilag):
  - Quantidade de doses para imunização: dose única.
  - Faixa etária autorizada: a partir de 18 anos.
  - Data da Concessão do Registro: 05/04/2022
  - Eficácia':
    - \* 67% : prevenção de doença moderada a grave 14 dias após a vacina
    - \* 66% : prevenção de doença moderada após 28 dias
    - \* 77% : prevenção de doença grave/crítica após 14 dias
    - \* 85% : prevenção de doença grave/crítica após 28 dias
  - Efetividade":
    - \* 66,2% : prevenção de quadros moderados da doença após 14 dias da vacinação
    - \* 68,1% : prevenção de casos graves e críticos após 28 dias da vacinação

- Oxford/Covishield (Fiocruz e Astrazeneca):
  - Quantidade de doses para imunização: duas doses.
  - Recomendação: A segunda dose deve ser aplicada entre 4 e 12 semanas após a primeira. Não recomendada para gestantes.
  - Faixa etária autorizada: a partir de 18 anos.
  - Data da Concessão do Registro: 12/03/2021
  - Eficácia’:
    - \* 76% : prevenção de doença sintomática
    - \* 92% : prevenção de hospitalizações
    - \* 100% : prevenção de doença grave
  - Efetividade(após 2 doses)’’:
    - \* 60-92% : prevenção de doença sintomática
    - \* 92% : prevenção de hospitalizações

Eficácia’: representa o quanto uma vacina é capaz de prevenir doenças em um ambiente controlado, ou seja, os cientistas avaliam a resposta a ela em condições e grupos de pessoas monitorados e específicos.

Efetividade’’: representa como esses mesmos imunizantes funcionam quando não utilizados na população em geral - cenário exemplo contra a variante delta.

#### D. A pandemia em Pernambuco

No Brasil, o primeiro caso de COVID-19 foi registrado em 26 de fevereiro de 2020. De acordo com a OMS, os sintomas mais comuns são: febre, garganta seca e fadiga. Menos comuns sintomas incluem dores de cabeça e perda do olfato. Dos infectados, 80% têm sua recuperação sem a necessidade de tratamento hospitalar; enquanto os 20% restantes, uma intervenção mais intensa é necessária.

Em Pernambuco, os dois primeiros casos de Covid-19 foram confirmados em 12 de março de 2020, um dia após a OMS declarar pandemia. A primeira morte foi notificada 14 dias depois, em 26 de março.

Entre pioras e melhoras do cenário epidemiológico, medidas foram adotadas pelo Governo do Estado, como restrições em cidades do Interior, suspensão de festas populares como o Carnaval e a aplicação do Plano de Convivência com a Covid-19, protocolo estadual que versa sobre as restrições e flexibilizações dos setores.

Dois anos após a Covid-19 ser chamada de Pandemia pela OMS, Pernambuco começou a flexibilizar cada vez mais as restrições, havendo atualmente até mesmo discussão acerca da não obrigatoriedade da máscara em lugares públicos e privados. Contudo, uma pergunta que permanece é: como exatamente essas flexibilizações serão sentidas na curva de infectados em função do tempo e, principalmente, em função da vacinação e da variante Ômicron, a predominante no momento no estado?

### III. OBJETIVOS

Tendo em vista o cenário atual em que há muita resistência à vacina por uma parcela da população e por setores específicos do governo, ainda que comprovada sua eficiência e eficácia. Em nossos experimentos estabeleceremos um contraste, projetando cenários nos quais a existência dela é quase nula

ou nenhuma. Dessa maneira, será observada a progressão da doença ao longo do tempo e uma análise a partir dos gráficos será efetuada para fins de comparação, caso dispuséssemos de uma maior taxa de vacinação.

### IV. METODOLOGIA

No que tange a metodologia do trabalho, é visível a necessidade da utilização do Método Tipológico, afinal é criado um modelo a partir do qual é feito estudo e compreensão de um fenômeno social com alto grau de complexidade.

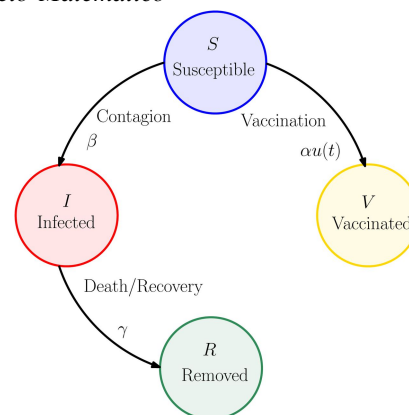
#### A. Classificação da Pesquisa

- Pesquisa Aplicada: Em nosso trabalho, procuraremos usar métodos e técnicas acumuladas das comunidades de pesquisa (da Academia) para um propósito específico, ou seja, para estimar a Progressão da Ômicron no Estado de Pernambuco.
- Pesquisa Quantitativa: O objetivo desse tipo de pesquisa é medir informações sobre um assunto que já é conhecido, a pandemia em Pernambuco. Desta forma, os dados coletados apresentam uma natureza mais estatística, sendo os resultados expostos em forma de gráficos, tabelas, etc.

#### B. Procedimentos Técnicos

- Pesquisa Bibliográfica: Houve primeiramente um levantamento robusto de material bibliográfico. Em seguida, o material foi lido, analisado e interpretado de forma a auxiliar na construção dos cenários que compõem o trabalho.
- Pesquisa Experimental: Os experimentos foram feitos com caráter comparativo, seus resultados, consequências de manipulações de variáveis em função de contextos específicos, foram obtidos visando a verificação de suas influências na curva de progressão da variante mais presente em Pernambuco no primeiro semestre de 2022.

#### C. O Modelo Matemático



(9) O modelo matemático SIR (suscetível, infectados e removidos) é largamente utilizado para simular uma pandemia, por ser um modelo simples. Então, esse trabalho contará com o suporte de uma variante desse modelo: O SIRV. Essa variante também leva em consideração a população dos vacinados. Vamos assumir aqui, que a população do estado de Pernambuco

permanece constante ao longo do tempo, dessa maneira, as equações serão dadas da seguinte forma:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) + V(t) \quad (1)$$

$$0 = S' + I' + R' + V' \quad (2)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \omega r R(t) - \lambda S(t) + \omega v V(t) \phi S(t) \quad (3)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = \phi S(t) - \omega v V(t) - (1 - \psi) \lambda V(t) \quad (4)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \lambda S(t) + (1 - \psi) \lambda V(t) - \gamma I(t) \quad (5)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - \omega r R(t) \quad (6)$$

Em que:

- N: É a população total.
- S(t): Representa a população suscetível a ter a doença no tempo t, ou seja, é a população que não foi infectada e que não possui imunização.
- I(t): representa a população infectada com o vírus no tempo t, esses são os indivíduos que estão infectados e podem espalhar a doença para a população que está no estado suscetível.
- R(t): Representa a população removida no tempo t, dizer que uma população foi removida nesse modelo significa que ou ficou recuperada da doença.
- V(t): Representa a população efetivamente vacinada no tempo t. São os indivíduos que foram vacinados e ganharam imunidade total à doença.
- $\omega r$ : Representa a taxa com a qual os indivíduos recuperados voltam para o grupo dos suscetíveis devido à perda de imunidade.
- $\omega v$ : Representa a taxa com a qual os indivíduos vacinados voltam para o grupo dos suscetíveis devido à perda de imunidade.
- $\gamma$ : Representa a taxa de recuperação dos indivíduos infectados por dia, a taxa  $1/\gamma$  representa a média do período de infecção da doença.
- $\psi$ : Representa a taxa de vacinação e a eficácia da vacina, é calculada fazendo a fração de indivíduos que ganharam imunização total com todos os que foram vacinados multiplicado pela taxa de vacinação de pernambuco.
- $\lambda$ : Representa a taxa de infecção por pessoa e é dada por  $\lambda = \frac{\beta}{IN}$
- $\phi$ : Representa a taxa de vacinação.

## V. OS CENÁRIOS

Utilizamos alguns cenários a fim de mostrar diferentes formas de visualizar os dados e entender a situação real de Pernambuco, bem como algumas situações hipotéticas a serem descritas.

- Cenário 1: Análise das condições atuais no estado de Pernambuco com a variante ômicron
- Cenário 2: Análise no estado de Pernambuco sem vacinação
- Cenário 3: Análise em PE levando em conta um imunizante com 100% de eficiência
- Cenário 4: Análise dos diferentes tipos de vacinas, bem como a eficácia para diferentes tipos de variantes (Ômicron, Gama, Delta, Zeta, Alpha)
  - Astrazeneca
  - Coronavac (Sinovac Biotech)
  - Janssen
  - Pfizer

## VI. COLETA E REFINAMENTO DE DADOS

Os dados foram obtidos do Monitora Covid em conjunto com a FioCruz, assim como dados dos IBGE para estimar a população de Pernambuco em Janeiro de 2022. Com isso temos  $N = 9674793$ . Para o número de infectados iniciais, coletamos do site [dados.seplag.pe.gov.br](https://dados.seplag.pe.gov.br), que fornece o número de infectados no mês de Janeiro de 2022. Como estamos analisando no período de início da vacinação temos que o  $V_0 = 0$ . Para calcularmos os Removidos iniciais, somaremos a quantidade de mortos e casos confirmados do dia 1 de janeiro em 2022 de Pernambuco.

Dessa forma, tem-se que o número de suscetíveis será o total da população subtraído com os removidos iniciais, vacinados iniciais e infectados iniciais.

Observa-se que a taxa de transmissão é aproximadamente igual a  $\beta = 2,02$ , para a variante ômicron, pois é mais contagiosa.

Sabendo que o período médio de infecção da Covid- 19 é 14 dias, então,  $\gamma = 1/14 = 0,07$ .

Para estimar a taxa de eficácia da vacina, se utiliza a média da eficácia de cada vacina:

- AstraZenica - 91,3%;
- CoronaVac - 95%;
- Janssem - 95%;
- Pfizer - 96% (6)

E, portanto, resulta em uma eficácia de  $\delta = 94\%$  ou 0,94.

## VII. BIBLIOTECAS UTILIZADAS

Para a simulação dos cenários descritos foram utilizadas algumas bibliotecas:

- Pandas: Pandas é uma ferramenta de análise e manipulação de dados de código aberto rápida, poderosa, flexível e fácil de usar, construída sobre a linguagem de programação Python.
- Numpy: NumPy fornece um grande conjunto de funções e operações de biblioteca que ajudam os programadores a executar facilmente cálculos numéricos.

- Matplotlib: Matplotlib é uma biblioteca abrangente para criar visualizações estáticas, animadas e interativas em Python.
- Plotly: A biblioteca de gráficos Python da Plotly cria gráficos interativos com qualidade de publicação. Exemplos de como fazer gráficos de linha, gráficos de dispersão, gráficos de área, gráficos de barras, barras de erro, gráficos de caixa, histogramas, mapas de calor, subplots, eixos múltiplos, gráficos polares e gráficos de bolhas.
- Odeint: Equações diferenciais são resolvidas em Python com o pacote Scipy.integrate usando a função odeint.

## VIII. RESULTADOS

- Cenário 1 : Nesse cenário podemos inferir que as vacinas contribuem para o achatamento da curva e a diminuição de pessoas suscetíveis e infectadas que poderiam vir a transmitir o vírus para outras pessoas. Logo, atestamos a efetividade do combate à variante no estado de Pernambuco através da vacinação em massa, as vacinas, seja elas quais forem, representam, dessa maneira, nossos melhores aliados no combate ao Coronavírus.
- Cenário 2: Podemos ver que a curva não se achata e que devido a falta de imunizante há um número maior de pessoas suscetíveis. O que implica em um contingente mais elevado de indivíduos infectados e, por conseguintes, indivíduos mortos em decorrência da não vacinação.
- Cenário 3: Nesse cenário absolutamente hipotético, teorizamos uma vacina com 100% de eficácia o que proporcionaria uma proteção integral daqueles que se imunizassem. Mesmo nesse caso ideal, vemos que a Covid-19 não seria totalmente erradicada, visto que novos casos surgiram com o tempo em função do decaimento da imunidade.
- Cenário 4: No cenário 4 conseguimos entender que independentemente da vacina que seja escolhida para a imunização da população, ela representa grande ajuda sob o espectro de qualquer uma das variantes do Coronavírus.

## IX. CONCLUSÃO

Apesar de alguns estudos e vários especialistas apontarem que, do ponto de vista individual, a variante Ômicron é menos letal, do ponto de vista da saúde pública e do atendimento, esse não parece ser o caso. O volume de casos provocado por essa variante é extremamente alto e, mesmo que o percentual de pessoas que necessitem de atendimento especializado seja pequeno frente ao volume extremamente alto de casos, as redes de atendimento acabam sendo ocupadas e, em última análise, a desassistência à saúde ocorre, elevando o número de óbitos. Esse aumento não se assemelha ao de variantes observadas anteriormente, como a Delta na Europa e Gamma no Brasil. No entanto, os números são expressivos, sobretudo quando consideramos que a Covid-19 é, hoje, uma doença prevenível do ponto de vista de complicações clínicas, desde que exista uma alta taxa de vacinação na população.

A onda de casos da variante Ômicron aparentemente parece ter um comportamento diferente das outras variantes, apresentando um pico acelerado e posteriormente queda acentuada, conferindo alguma imunidade à população que eventualmente tenha tido a infecção. Em pessoas vacinadas e sem complicações prévias, a doença parece seguir um curso mais brando. No entanto, em pessoas não vacinadas e mesmo sem comorbidades ou fatores de risco, essa variante apresenta um risco para internação e óbitos. De forma indireta, a onda de Ômicron valida os efeitos esperados para a vacinação da população.

É de extrema importância que se busque maior fomento à vacinação das populações nas diferentes regiões do mundo e dentro do Brasil, para evitar a circulação de forma acelerada do vírus, dificultar o surgimento de novas variantes e aliviar a demanda por atendimento especializado em saúde, sobretudo nos não vacinados, nos que possuem resistência à vacinação por desinformação ou fanatismo seja em ele em qualquer esfera.

## REFERENCES

- [1] <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2022-01/omicron-pode-ser-o-virus-de-mais-rapida-propagacao-da-historia>
- [2] <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/11/pro-manejo-coronavirus.pdf>
- [3] <https://saude.gov.br/saude-de-a-z/coronavirus>
- [4] Belfin RV, Bródka P, Radhakrishnan BL, Rejula V. 2020. COVID-19 peak estimation and effect of nationwide lockdown in India. medRxiv. 2020.05.09.20095919.
- [5] <https://bigdata-covid19.icict.fiocruz.br/>
- [6] <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/taxa-de-transmissao-da-covid-19-cai-no-brasil-apos-um-mes-e-meio/>
- [7] <https://noticias.r7.com/saude/periodo-medio-de-incubacao-do-coronavirus-e-de-51-dias-10032020>
- [8] <https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona.html>
- [9] <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.02.05.21250572v1.full>
- [10] <https://www.tre-pe.jus.br/imprensa/noticias-tre-pe/2022/Marco/cas-divulga-informacoes-sobre-covid-e-variante-omicron>
- [11] <https://especiais.g1.globo.com/bemestar/vacina/2021/mapa-brasil-vacina-covid/>
- [12] <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/paf/coronavirus/vacinas>
- [13] <https://pandas.pydata.org/>
- [14] <https://medium.com/ensina-ai/entendendo-a-biblioteca-numpy-4858fde63355>
- [15] <https://matplotlib.org/>
- [16] <https://plotly.com/python/graph-objects/>
- [17] <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/taxa-de-transmissao-da-covid-19-cai-no-brasil-apos-um-mes-e-meio/>
- [18] [http://portal.saude.pe.gov.br/sites/portal.saude.pe.gov.br/files/novo\\_modelo\\_acompanhamento\\_recebimento\\_vacinas\\_covid-19\\_com\\_destinacao.pdf](http://portal.saude.pe.gov.br/sites/portal.saude.pe.gov.br/files/novo_modelo_acompanhamento_recebimento_vacinas_covid-19_com_destinacao.pdf)
- [19] <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.02.05.21250572v1.full>