



APLICAÇÃO DO MÉTODO CODAS PARA ORDENAÇÃO DAS VACINAS CONTRA COVID-19 NO CONTEXTO BRASILEIRO

Lívia Rodrigues da Silva (UVA) livia.rodrigues@rocketmail.com
Fabrício da Costa Dias (UVA) fcdias@yahoo.com
Marcos dos Santos (IME) marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
Rafael de Freitas Souza (USP) fsrafael@usp.br

Resumo

O presente estudo teve como objetivo a elaboração de um ranking de vacinas contra a Covid-19 levando em consideração o contexto brasileiro e sob a ótica da área da saúde. Para isso, foi utilizado o CODAS – um método de análise multicritério de decisão fundamentado nos conceitos da Pesquisa Operacional. Tal ferramenta utiliza as distâncias Euclidiana e de Manhattan para definir uma ordem de preferência entre as alternativas analisadas. Na elaboração do ranking foi feita uma comparação entre os imunizantes desenvolvidos pela Pfizer/BioNTech, Sinovac, Janssen e AstraZeneca/Oxford. Foram considerados quatro critérios para fins de avaliação das alternativas: eficácia global, temperatura máxima de armazenamento, intervalo mínimo entre doses e custo total. O ranking obtido teve como primeiro lugar o imunizante desenvolvido pela AstraZeneca/Oxford – o que evidenciou a capacidade do método para avaliar diferentes critérios ao mesmo tempo. Assim sendo, este trabalho espera deixar como contribuição uma acurácia na gestão estratégica de imunização para a realidade brasileira no combate a pandemia ocasionado pelo Coronavírus.

Palavras-Chaves: Análise Multicritério de Decisão. Pesquisa Operacional. Método CODAS. Coronavírus. Vacinas.

1. Introdução

A tomada de decisão é uma atividade constante na vida de qualquer indivíduo, esteja em ambiente profissional, familiar ou em um momento de lazer. Em situações corriqueiras, as pessoas acostumam-se a tomar decisões sem a necessidade de utilizar métodos científicos ou ferramentas de apoio, levando em consideração experiências passadas, intuição e nosso próprio intelecto.

Por outro lado, quando alguém se depara com problemas complexos, onde diversos critérios devem ser levados em consideração e, principalmente, em ambientes corporativos e de pesquisa científica; a Pesquisa Operacional (PO) pode ser de grande auxílio. Nos dias atuais, é fácil ter acesso a alguns modelos matemáticos fundamentados na PO que oferecem suporte à tomada de decisão multicritério.

A Análise Multicritério de Decisão (AMD) tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas do conhecimento. Uma das principais áreas em que o estudo tem demonstrado resultados satisfatórios é no campo da saúde, onde podemos citar alguns exemplos de aplicação. Sloane et. al. (2003) utilizaram um dos mais conhecidos métodos multicritério, o Analytic Hierarchy Process (AHP), para avaliar as melhores opções de ventiladores respiratórios para o setor neonatal dos hospitais, de acordo com as características dos modelos disponíveis no mercado. Outro exemplo é o de Ju, Wang e Liu (2012), que fizeram uso de um método multicritério fuzzy para avaliar a capacidade de resposta do setor de emergência dos hospitais.

A saúde é um tema propício nos dias atuais, visto que o mundo atravessa um cenário de pandemia provocada pelo novo coronavírus. Devido à urgência sanitária e econômica ocasionada, a comunidade científica não mediu esforços para descobrir um imunizante e a vacinação iniciou-se em tempo recorde: o primeiro programa de imunização teve início em dezembro de 2020.

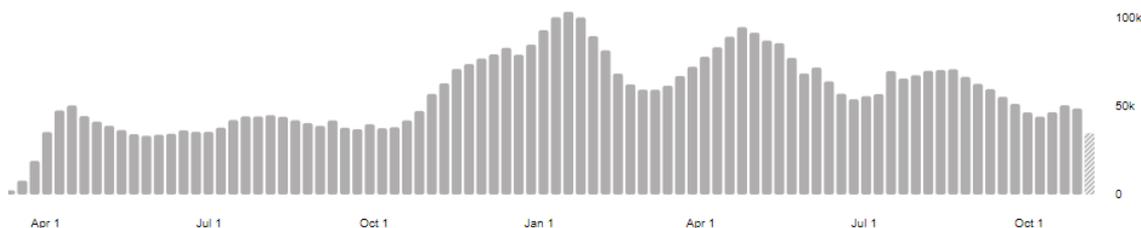
Dado o exposto acima, entende-se que seria razoável utilizar um modelo multicritério de apoio à tomada de decisão para avaliar uma opção ótima de vacina para a realidade em que o Brasil está inserido. O método CODAS auxiliará nesse processo com base nos principais critérios de avaliação científicos de uma vacina, como: eficácia global, temperatura máxima de armazenamento, intervalo mínimo entre doses e custo das doses.

2. Problema

Os primeiros casos de infecção pelo coronavírus (SARS-CoV-2) surgiram na cidade de Wuhan, na China. O vírus foi identificado como o causador da doença Covid-19, que apresentou rápida disseminação e levou a Organização Mundial da Saúde (OMS) a declarar pandemia em março de 2020. (ESTEVÃO, 2020).

O gráfico a seguir (Gráfico 1) mostra a distribuição do número de mortes causadas pela Covid-19 em um ano, sendo possível perceber um aumento considerável em meados de janeiro e fevereiro de 2021, bem como em meados de abril de 2021.

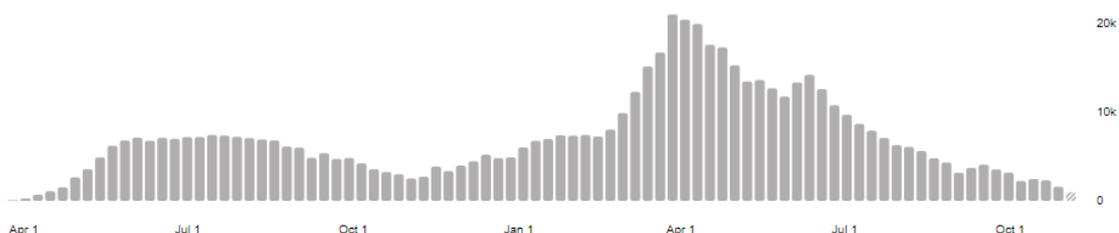
Gráfico 1 – Distribuição do número de mortes causadas no mundo pela COVID-19 entre Abril/2020 e Outubro/2021



Fonte: OMS (2021)

O Brasil foi um dos países mais afetados pela pandemia, com o número de mortes atingindo mais de 500 mil até outubro/2021. Com o progresso da vacinação, as expectativas de melhora desse quadro aumentaram, porém, a situação continua crítica em comparação com os demais países desenvolvidos. O gráfico abaixo (Gráfico 2) mostra a evolução do número de óbitos no país entre abril de 2020 e outubro de 2021.

Gráfico 2 - Distribuição do número de mortes causadas no Brasil pela COVID-19 entre Abril/2020 e Outubro/2021



Fonte: OMS (2021)

Já que as particularidades do vírus em questão são uma novidade para a ciência, ainda existem lacunas no conhecimento em relação a este tema. Por isso, Domingues (2021) defende que é fundamental a realização de estudos complementares para avaliar quesitos como eficácia, tempo de persistência da memória imunológica das vacinas, comportamento das mesmas frente a exposição a variação de temperaturas e preço de comercialização.

Portanto, será explorada a seguinte questão de pesquisa: “Qual a melhor vacina para o contexto brasileiro, entre as que estão sendo administradas atualmente no Brasil, de acordo com critérios estabelecidos pela área da saúde?” Este questionamento guiará a utilização do modelo matemático CODAS para definir um ranking para elencar as melhores vacinas a serem administradas no Brasil.

3. Fundamentação teórica

3.1 Pesquisa operacional

Longaray (2013, p. 21) define PO como um “conjunto de técnicas que faz uso do método científico para auxiliar as pessoas a tomarem decisões”. É uma área do conhecimento que estrutura processos através da construção de modelos e que utiliza técnicas quantitativas para otimizar cenários, levando em consideração diversos fatores ao mesmo tempo e ajudando o usuário a tomar a melhor decisão. (LOESCH; HEIN, 2009).

Para Gomes e Gomes (2019, p. 57) a PO “é uma área que cuida da otimização dos processos organizacionais e de métodos de resolução de problemas e apoio à decisão, entre outros”.

3.1.1 Apoio multicritério à decisão

Dentro do ambiente de decisão multicritério existem métodos que buscam esclarecer o processo de escolha. Os métodos não apresentarão uma única solução vencedora para o problema, mas podem recomendar um caminho a seguir e direcionar o pensamento do decisor. (GOMES; GOMES, 2019).

Existem vários métodos de apoio à decisão multicritério que atendem a diversas problemáticas do mundo empresarial, profissional, acadêmico e até pessoal. Alguns dos modelos mais conhecidos e utilizados são o AHP, PROMETHÉE, Electre e fuzzy. Neste trabalho será abordada a ferramenta CODAS, escolhida de forma a apresentar os resultados pretendidos com clareza.

3.1.2 Método CODAS

O CODAS é um método de apoio à decisão multicritério que utiliza a Distância Euclidiana (ou norma L2) e a Distância de Manhattan (também conhecida como norma L1 ou geometria

do táxi) para avaliar a performance das alternativas. A Distância Euclidiana funciona como medida primária e a de Manhattan, secundária. Isto é, se alguma das alternativas for incomparável em relação à Distância Euclidiana, usaremos a medida secundária (Manhattan). Por mais que a preferência seja pelo uso da medida primária, os dois tipos de distância podem ser considerados. A seguir, será apresentado o passo-a-passo para a utilização do método. (GHORABAE, 2016).

Passo 1: Construir a matriz de tomada de decisão (X) com os valores das alternativas:

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde x_{ij} ($x_{ij} \geq 0$) contém o valor da alternativa i no critério j ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$ e $j \in \{1, 2, \dots, m\}$).

Passo 2: Calcular a matriz normalizada, utilizando a normalização linear dos valores das alternativas:

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{se } j \in N_b \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & \text{se } j \in N_c \end{cases} \quad (2)$$

onde N_b e N_c representam os critérios de benefício e de custo, respectivamente.

Passo 3: Calcular a matriz de decisão normalizada ponderada:

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (3)$$

onde w_j ($0 < w_j < 1$) representa o peso do critério j e $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

Passo 4: Determinar a solução negativa ideal:

$$ns = [ns_j]_{1 \times m}$$

$$ns_j = \min_i r_{ij} \quad (4)$$

Passo 5: Calcular a distância Euclidiana e de Manhattan do ponto negativo ideal:

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (5)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j) \quad (6)$$

Passo 6: Construir a matriz de avaliação relativa:

$$Ra = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (7)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\Psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (8)$$

onde $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ e Ψ representa uma função para reconhecer a igualdade das distâncias euclidianas entre duas alternativas e é definido como demonstrado a seguir:

$$\Psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{se } |x| < \tau \end{cases} \quad (9)$$

τ é um parâmetro que pode ser definido pelo decisor e é recomendado que este valor esteja entre 0,01 e 0,05. Se a diferença entre as distâncias Euclidianas de duas alternativas for menor que τ , estas alternativas também serão comparadas pela distância de Manhattan.

Passo 7: Calcular a posição relativa das alternativas:

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (10)$$

Passo 8: Por fim, montar o *ranking* das alternativas de acordo com os valores decrescentes de H_i . O maior H_i é a melhor entre as alternativas, de acordo com o modelo.

3.2 Coronavírus

O SARS-CoV-2 tem uma alta taxa de mutação e, desde que foi descoberto em humanos, já sofreu algumas mutações à medida que se espalhou pelo globo. Tais mutações genéticas ocorrem com mais frequência em vírus de genoma RNA, como é o caso do microrganismo em evidência. (MICHELON, 2021).

Até o momento da realização deste estudo, 4 vacinas contra a COVID-19 tinham sido aprovadas pela Anvisa para aplicação no Brasil. As vacinas CoronaVac[®] e da Janssen[®] foram aprovadas inicialmente para uso emergencial. As vacinas da Pfizer/BioNTech[®] e AstraZeneca/Oxford[®] têm registro definitivo. Já a Covaxin[®] e Sputnik V[®] tiveram a aprovação excepcional da importação de alguns lotes, mas que não configura aprovação para uso emergencial. (PEBMED, 2021).

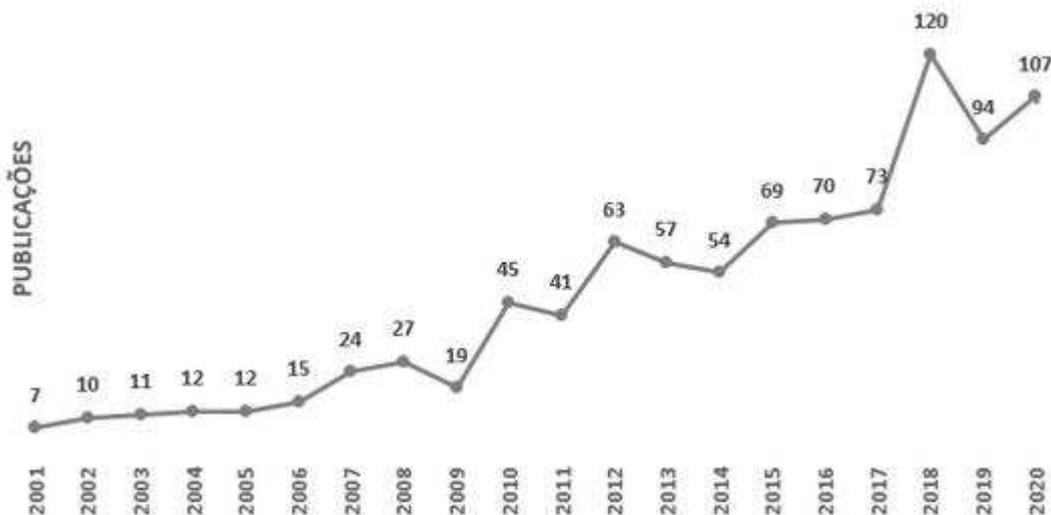
4. Metodologia

4.1 Análise bibliométrica

Ao fazer uma pesquisa por publicações com as palavras-chave “*multicriteria analysis*” e que contenham também a palavra “*health*”, foi possível encontrar um total de 1.007 conteúdos, datados de 1978 até 2021.

Reduzindo o horizonte de pesquisa (Gráfico 3) para os últimos 20 anos (2001 até 2020), a base retorna 967 publicações relacionadas às palavras-chave procuradas.

Gráfico 3 – Evolução anual das publicações dos últimos 20 anos envolvendo “Análise Multicritério” e “Saúde”



Fonte: Portal Periódicos CAPES (2021)

No Gráfico 3 é possível identificar que houve significativa evolução ano a ano na quantidade de pesquisas envolvendo o assunto, sobretudo a partir de 2018, quando o número de trabalhos quase dobrou em relação a 2012, mostrando o quanto a aplicação de um método matemático no suporte a tomada de decisão se torna cada vez mais usual.

4.2 Tipo de pesquisa

O método utilizado por este trabalho se apoiou na pesquisa descritiva devido à necessidade de definir a relação entre os critérios de avaliação das vacinas que serão utilizados no modelo matemático e a eficiência dos imunizantes. Sendo mostradas as principais teorias utilizadas na pesquisa deste artigo, com base numa pesquisa bibliográfica, como a Pesquisa Operacional e método CODAS, e uma breve descrição sobre o coronavírus e seus imunizantes. Além disso, a pesquisa será exploratória visto que, apesar do tema apresentar muita visibilidade atualmente, encontram-se poucos estudos que façam uso da análise multicritério para a escolha de vacinas, sobretudo para o Covid-19.

A ordem das ações do tratamento proposto é ilustrada na figura abaixo (Figura 1).

Figura 1 – Tratamento de dados proposto



Fonte: Autora (2021)

5. Resultados alcançados

5.1 Critérios de avaliação

Para avaliação de cada vacina, serão utilizados 4 critérios como inputs para o método CODAS. A escolha dos critérios utilizados e seus pesos foi feita com a ajuda de um profissional de saúde – um médico atuante no atendimento de pacientes com Covid-19, através de uma entrevista realizada no mês de novembro de 2021. Assim, tais atributos refletem a experiência e a opinião de alguém que atuou na linha de frente contra o vírus.

O ranking de vacinas contra Covid-19 será construído através do método CODAS, que nos permitirá avaliar a relevância de cada critério em observância aos pesos atribuídos. O método pode ser executado a partir de uma ferramenta web criada através da linguagem de

programação Python – o CODAS Web. O CODAS Web pode ser acessado através do domínio “<https://www.codasweb.com>”. Nele, serão inseridos os inputs necessários para rodar o modelo, como: critérios, tipos de critérios (custo ou benefício), alternativas e pesos.

5.1.1 Critério 1: Eficácia global

A eficácia global representa a capacidade de proteção que o imunizante oferece contra a infecção durante testes em laboratório, que são conduzidos até a fase 3 – quando a vacina é administrada a milhares de pessoas. Diferentemente da eficácia clínica, que representa a capacidade de proteção do imunizante contra o desenvolvimento de quadros graves da doença. Logo, a eficácia global tende a ser menor que a eficácia clínica. (OMS, 2020).

5.1.2 Critério 2: Temperatura máxima de armazenamento

De acordo com o médico entrevistado, este critério foi escolhido levando-se em consideração que, sobretudo em um país como o Brasil, onde o clima predominante é o tropical, com ambientes úmidos e temperaturas quentes, é importante avaliar o intervalo de temperaturas exigido para garantir a conservação adequada do imunizante.

5.1.3 Critério 3: Intervalo mínimo entre doses

Quanto mais rápida for feita a vacinação completa da população, mais rapidamente serão sentidos os efeitos da imunização. Dessa forma, escolher imunizantes que exijam menos doses para a imunização completa ou que exijam os menores intervalos entre elas pode ser mais benéfico e este foi o motivo da escolha deste critério, segundo o profissional entrevistado.

5.1.4 Critério 4: Custo total

O custo total abordado neste critério refere-se ao valor total das doses dos imunizantes, não compreendendo gastos com transporte, armazenamento e outras despesas. Quanto menor o dispêndio de recursos públicos para garantir a imunização dos cidadãos, melhor para os cofres públicos – principalmente levando-se em consideração que este é um gasto inesperado, que ocorre em meio a uma crise econômica desencadeada pela própria pandemia. Será considerado o custo total para a imunização de uma pessoa – o somatório do custo de todas as doses necessárias.

5.1.5 Pesos

Os pesos para cada critério, assim como a escolha dos critérios, foram atribuídos pelo médico entrevistado, refletindo a opinião de um profissional desta área.

- Critério 1 (eficácia global): 0,50

Foi escolhido um peso de 50% para a eficácia global – o maior entre os pesos atribuídos. Segundo a justificativa do médico entrevistado, para que o controle da pandemia seja feito de forma satisfatória, é importante que boa parte da população não contraia a doença proveniente do vírus, reduzindo as chances de que esta siga se espalhando.

- Critério 2 (temperatura máxima de armazenamento): 0,10

Foi atribuída uma importância de 10%, uma vez que os imunizantes que necessitam ser estocados a temperaturas menores exigem mais estrutura – refrigeradores diferenciados e um planejamento logístico mais complicado em comparação às vacinas estocadas em temperaturas mais comuns. Porém, na visão do profissional entrevistado, critérios como a eficácia e o custo devem ter uma relevância maior ao escolher um imunizante.

- Critério 3 (intervalo mínimo entre doses): 0,10

Cada imunizante possui características únicas de aplicação para que não causem nenhum dano à saúde, incluindo um intervalo mínimo para que as doses sejam administradas. Neste sentido, é interessante que o imunizante permita a aplicação de todas as doses necessárias em um intervalo de tempo menor, para que as pessoas sejam expostas ao perigo por menos tempo. Porém, apesar de ser um critério que deve ser levado em consideração, existem outros mais determinantes, como a eficácia e o custo total – no ponto de vista do médico entrevistado.

- Critério 4 (custo total): 0,30

O custo é um dos critérios mais importantes, em especial no cenário de desaceleração econômica provocado pela pandemia, onde a contenção de gastos do governo se faz essencial. Escolher uma vacina que custe menos significa poupar recursos públicos, o que é benéfico para a população. Segundo o médico entrevistado, o custo total é o segundo critério mais importante, sendo atribuído a este um peso de 30%.

5.2 Características das alternativas

As alternativas são os imunizantes avaliados, listados a seguir junto com seus respectivos critérios de acordo com Instituto Butantan (2021); OMS (2021); Pfizer (2021). Os dados apresentados neste item são os mais recentes até o início da elaboração do presente estudo, que se deu em fevereiro de 2021.

- Alternativa 1: Pfizer/BioNTech ®

Eficácia global: 95%

Temperatura máxima de armazenamento: A vacina pode ser armazenada a temperatura -90°C a -60°C por até 6 meses, entre -25°C a -15°C por um período único de 2 semanas e em temperatura de refrigerador entre 2°C a 8°C por até 31 dias. Usaremos a temperatura máxima de armazenamento por até 2 semanas, de $-15^{\circ}\text{C} = 258,15\text{ K}$

Tempo para imunização completa: 21 dias

Custo total: US\$ 40 (US\$ 20 por dose)

- Alternativa 2: CoronaVac/Sinovac ®

Eficácia global: 50,38%

Temperatura máxima de armazenamento: $8^{\circ}\text{C} = 281,15\text{ K}$

Tempo para imunização completa: 14 dias

Custo total: US\$ 20,60 (US\$ 10,30 por dose)

- Alternativa 3: Janssen ®

Eficácia global: 66,9%

Temperatura média de armazenamento: 8 °C = 281,15 K

Tempo para imunização completa: 0 dias (dose única)

Custo total: US\$ 10

- Alternativa 4: AstraZeneca/Oxford ®

Eficácia global: 70%

Temperatura média de armazenamento: 8 °C = 281,15 K

Tempo para imunização completa: 56 dias

Custo total: US\$ 6,32 (US\$ 3,16 por dose)

5.3 Execução do método

Passo 1: Construir a matriz de decisão contendo as alternativas e os critérios. Nesta matriz constam os valores de cada critério para cada uma das 4 alternativas, conforme o Quadro 1 abaixo.

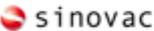
Quadro 1 – Matriz de decisão

Alternativas	Custo total	Eficácia global	Intervalo mín entre doses	Temperatura máx armazenamento
	40	0,950	21	258,15
	20,6	0,504	14	281,15
	10	0,669	0,01	281,15
	6,32	0,700	56	281,15

Fonte: Autora (2021)

Passo 2: Calcular a matriz normalizada através da normalização linear conforme mostra o Quadro 2 a seguir. Todas as variáveis da matriz de decisão ficam na mesma base, tornando mais coerente a comparação entre os valores de critérios diferentes. No método CODAS é utilizada a normalização linear.

Quadro 2 – Matriz normalizada

Alternativas	Custo total	Eficácia global	Intervalo mín entre doses	Temperatura máx armazenamento
	0,158	1,000	0,000	0,918
	0,307	0,531	0,001	1,000
	0,632	0,704	1,000	1,000
	1,000	0,737	0,000	1,000

Fonte: Autora (2021)

Passo 3: Calcular a matriz normalizada ponderada. Neste passo, são atribuídos aos critérios os pesos que foram estipulados na fase anterior. Para fazer isso, basta multiplicar os valores da matriz normalizada pelo peso do critério, como mostra o Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Matriz normalizada ponderada

Alternativas	Custo total	Eficácia global	Intervalo mín entre doses	Temperatura máx armazenamento
	0,047	0,500	0,000	0,092
	0,092	0,265	0,000	0,100
	0,190	0,352	0,100	0,100
	0,300	0,368	0,000	0,100

Fonte: Autora (2021)

Passo 4: Determinar a solução negativa ideal de cada critério, ilustrada no Quadro 4 a seguir. A solução negativa ideal é o menor valor disponível em cada critério entre as alternativas apresentadas na matriz normalizada ponderada.

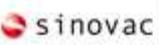
Quadro 4 – Solução negativa ideal

Eficácia global	Temperatura máx armazenamento	Intervalo mín entre doses	Custo total
0,265	0,092	0,000	0,047

Fonte: Autora (2021)

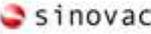
Passo 5: Calcular a distância Euclidiana e de Manhattan de cada alternativa para a solução negativa-ideal. Em grande parte dos métodos de análise multicritério, é calculada apenas uma das distâncias. O método CODAS avalia a distância euclidiana como a primeira medida – caso duas alternativas tenham apresentado distâncias muito próximas ($\tau = 0,01$ a $0,05$), elas também serão comparadas pela distância de Manhattan, como medida secundária. O Quadro 5 e Quadro 6 a seguir contêm as distâncias Euclidiana e Manhattan calculadas, respectivamente.

Quadro 5 – Distâncias Euclidianas de cada alternativa

Alternativas	Valor
	0,235
	0,045
	0,194
	0,273

Fonte: Autora (2021)

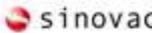
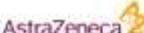
Quadro 6 – Distâncias de Manhattan de cada alternativa

Alternativas	Valor
	0,235
	0,053
	0,337
	0,364

Fonte: Autora (2021)

Passo 6: Construir a matriz de avaliação relativa, ilustrada pelo Quadro 7 abaixo. Nessa matriz, as alternativas serão comparadas entre si através das equações (7) e (8).

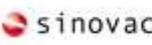
Quadro 7 – Matriz de avaliação relativa

				
	0	0,189	0,040	-0,038
	-0,189	0	-0,149	-0,228
	-0,040	0,149	0	-0,078
	0,038	0,228	0,078	0

Fonte: Autora (2021)

Passo 7: Calcular a posição relativa de cada alternativa. Para isso, basta somar os valores das linhas de cada alternativa, como mostrado no Quadro 8 a seguir.

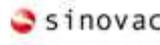
Quadro 8 – Posições relativas

Alternativas	Posição Relativa
	0,191
	-0,566
	0,03
	0,344

Fonte: Autora (2021)

Passo 8: Organizar o ranking em ordem crescente de posições relativas, conforme o Quadro 9 abaixo. A melhor alternativa é a que tiver a maior das posições relativas.

Quadro 9 – Ranking final de imunizantes obtido pelo método CODAS

Posição	Alternativas
1	
2	
3	
4	

Fonte: Autora (2021)

6. Discussão dos resultados

A primeira posição ficou com a vacina da AstraZeneca/Oxford ®, seguida pela Pfizer/BioNTech ®, Janssen ® e CoronaVac ®, respectivamente. Apesar do critério de eficácia global ter sido o mais relevante em termos de peso (50%), a vacina da Pfizer/BioNTech ®, que possui o maior valor neste critério, não ficou com o primeiro lugar da classificação. Isso porque o imunizante da AstraZeneca, além de apresentar a segunda maior eficácia dentre as alternativas estudadas, também possui o menor custo total – segundo

critério mais relevante (30%) – e uma temperatura máxima de armazenamento mais flexível, perdendo apenas no intervalo mínimo entre doses, sendo o maior entre as alternativas analisadas.

Uma das vantagens do uso do método CODAS foi a possibilidade de avaliar diversos critérios ao mesmo tempo na comparação dos imunizantes, cada um com uma unidade de medida distinta, tendo a possibilidade de atribuir diferentes pesos para cada um deles. Além disso, diferentemente de outros métodos de Pesquisa Operacional, que comumente utilizam apenas uma distância na análise das alternativas, o CODAS utiliza a distância euclidiana como medida primária e a de Manhattan como secundária. Caso duas ou mais alternativas pareçam muito próximas de acordo com a distância euclidiana, a distância de Manhattan é utilizada como “desempate” para a formação do ranking. A ferramenta CODAS Web surge como um facilitador, uma vez que realizar os cálculos de forma manual pode exigir certas habilidades e conhecimento matemático, além de ser mais provável a ocorrência de erros.

Por outro lado, é importante ressaltar que, apesar do método ser um bom auxiliar, a escolha de imunizantes para administração em meio a uma pandemia é uma tarefa que deve ser ponderada por profissionais especializados, não só os que atuam na área da saúde, mas também na cadeia de suprimentos, logística, financeiro e outras frentes. O resultado da execução do método não elimina a necessidade de avaliação humana, sendo apenas uma ferramenta de apoio à tomada de decisão – o que pode ser caracterizado como uma desvantagem para o método proposto.

O método é muito sensível à atribuição de pesos para os diferentes critérios selecionados, de forma que a escolha de um peso muito relevante para um dos critérios acaba resultando em uma posição privilegiada para as alternativas que apresentarem o maior valor no critério em questão.

7. Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo a elaboração de um ranking de vacinas contra Covid-19 para o contexto brasileiro, levando em consideração critérios selecionados por um profissional da área da saúde (médico) através de uma entrevista realizada em novembro de 2021. Seu foco foi determinar uma ordem de preferência para o uso dos imunizantes que já tenham sido aprovados ou que possuam autorização para uso emergencial pela Anvisa.

Uma das principais vantagens do método proposto foi a possibilidade de avaliação de diferentes critérios, que apresentam distintas unidades de medida. Ademais, ao contrário de outros métodos de apoio multicritério à decisão, o CODAS utiliza duas distâncias (Euclidiana e de Manhattan) na avaliação das alternativas, auferindo maior precisão no posicionamento das alternativas no ranking.

Por outro lado, uma das desvantagens da utilização de um método AMD é que a necessidade de avaliação humana não é dispensada, sendo essa apenas uma ferramenta de auxílio ao tomador de decisão. Ademais, outra fraqueza do método é a sua sensibilidade à alteração de pesos, uma vez que a escolha de um peso muito relevante acaba destacando um dos critérios em detrimento dos demais.

REFERÊNCIAS

DOMINGUES, C.M.A.S. **Desafios para a realização da campanha de vacinação contra a COVID-19 no Brasil**. Caderno de Saúde Pública, vol. 37, nº1. 2021. Disponível em: < <https://www.scielo.br/pdf/csp/v37n1/1678-4464-csp-37-01-e00344620.pdf>>. Acesso em: 13 Abr 2021.

ESTEVÃO, A. **Covid-19**. ACTA Radiológica Portuguesa. Janeiro-Abril 2020. Vol. 32 nº 1, 5-6. Disponível em: < <https://revistas.rcaap.pt/actaradiologica/article/view/19800>>. Acesso em: 12 Abr 2021.

GHORABAE, M.K. et. al. **A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision making**. Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, Issue 3/2016, Vol. 50.

GOMES, L.F.A.; GOMES, C.F.S. **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. São Paulo: Grupo GEN, 2019.

INSTITUTO BUTANTAN (2021). **Quais são as diferenças entre as vacinas contra Covid-19 que estão sendo aplicadas no Brasil?** Disponível em: < <https://butantan.gov.br/covid/butantan-tira-duvida/tira-duvida-noticias/quais-sao-as-diferencas-entre-as-vacinas-contracovid-19-que-estao-sendo-aplicadas-no-brasil>> Acesso em: 23 Nov 2021.

JU, Y.; WANG, A.; LIU, X. **Evaluating emergency response capacity by fuzzy AHP and 2-tuple fuzzy linguistic approach**. Expert Systems with Applications, v. 39, n. 8, p. 6972-6981, 2012. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417412000747>> Acesso em: 30 Mar 2021

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: Fundamentos e modelos**. 1ª edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2009.



LONGARAY, A. A. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Editora Saraiva, 2013. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502210844/>>. Acesso em: 28 Mar 2021

MICHELON, C.M.M (2021). **Variantes do SARS-CoV-2: devemos nos preocupar?** Disponível em: <https://www.sbac.org.br/blog/2021/02/19/variantes-do-sars-cov-2-devemos-nos-preocupar/> Acesso em: 21 Jun 2021.

OMS – Organização Mundial de Saúde (2020). **Como funcionam as vacinas**. Disponível em: https://www.who.int/pt/news-room/feature-stories/detail/how-do-vaccines-work?gclid=Cj0KCQjw8p2MBhCiARIsADDUFVGIDV5dtf-JDNQhLoNRQ8hsJhhb1vqHenq3RO3FKjhS-OegH22yPgSAI2pEALw_wcB Acesso em: 07 Nov 2021.

OMS – Organização Mundial de Saúde (2021). **Coronavirus disease (COVID-19): Vaccines**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)-vaccines?adgroupsurvey={adgroupsurvey}&gclid=CjwKCAjwu5CDBhB9EiwA0w6sLcrM3SXvT4Nb_3JNFks3NiO-GJf3BirDJRFHPrSLp2hxn6qEPPHFhoCXPMQAvD_BwE](https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-(covid-19)-vaccines?adgroupsurvey={adgroupsurvey}&gclid=CjwKCAjwu5CDBhB9EiwA0w6sLcrM3SXvT4Nb_3JNFks3NiO-GJf3BirDJRFHPrSLp2hxn6qEPPHFhoCXPMQAvD_BwE)>. Acesso em: 31 Mar 2021.

OMS – Organização Mundial de Saúde (2021). **Vacina da Oxford/AstraZeneca contra a COVID-19: o que precisa de saber**. Disponível em: <<https://www.who.int/pt/news-room/feature-stories/detail/the-oxford-astrazeneca-covid-19-vaccine-what-you-need-to-know>> Acesso em: 02 Nov 2021.

OUR WORLD IN DATA. **Statistics and Research – Coronavirus Pandemic (COVID-19)**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/coronavirus>> Acesso em: 02 Nov 2021.

PEBMED. **Covid-19: Aprovada com restrições a importação excepcional de doses da Covaxin e Sputnik V no Brasil**. Disponível em: <https://pebmed.com.br/covid-19-aprovada-com-restricoes-a-importacao-excepcional-de-doses-da-covaxin-e-sputnik-v-no-brasil/> Acesso em: 22 Jun 2021.

PFIZER. Covid-19 – **Principais perguntas e respostas sobre vacina Pfizer e BioNTech**. Disponível em: <https://www.pfizer.com.br/sua-saude/covid-19-coronavirus/covid-19-principais-perguntas-respostas-sobre-vacina-pfizer-e-biontech> Acesso em: 10 Out 2021.

PORTAL PERIÓDICOS CAPES. **Periódicos Capes**. Disponível em: <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php?>> Acesso em: 23 Nov 2021.

SLOANE, E. B.; LIBERATORE M.J.; NYDICK, R. L.; LUO, W.; CHUNG, Q.B. **Using the analytic hierarchy process as a clinical engineering tool to facilitate an iterative, multidisciplinary, microeconomic health technology assessment**. Computers & Operations Research, v. 30, n. 10, p. 1447-1465, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054802001879>> Acesso em: 30 Mar 2021.