

# Choosing Flying Hospitals in the Fight Against the COVID-19 Pandemic: Structuring and Modeling a Complex Problem using the VFT and ELECTRE-MOR Methods

I. Costa, A. Sanseverino, M. Barcelos, M. Belderrain, C. Gomes, and M. Santos

**Abstract**— The increase in the number of cases of the new coronavirus has threatened the capacity of health systems worldwide, with several states declaring the collapse of the hospital system. In order to find a way to support Brazil in the fight against the pandemic, this article used the Value-Focused Thinking (VFT) and ELECTRE-MOR methods to select the most suitable hospital aircraft to be acquired by the Brazilian government. The airplanes would be used in aeromedical evacuations, supporting the fight against the pandemic, especially in regions where there are no more ICU beds available, transporting patients to other locations with greater structure, technological and technical experience. To this end, six models manufactured by Embraer, employed in aeromedical evacuations, were evaluated in the light of operational, technical and commercial criteria. This paper aims to solve a problem of extreme relevance to academia and society, as it proposes the application of a new Multi-Criteria Decision Support (MCDS) method to contribute to the solution of a problem that affects millions of people in Brazil and worldwide. After the application of the methods, Legacy 450 and Praetor 500 aircrafts were chosen as the most indicated to be acquired by the Government and used as hospital aircrafts in the fight against the pandemic.

**Keywords**— Decision support systems, multicriteria analysis, ELECTRE-MOR, Public healthcare, COVID-19.

## I. INTRODUÇÃO

A pandemia global do COVID-19 é facilmente disseminada pela proximidade de indivíduos, especialmente em grandes aglomerações, muito comuns em grandes cidades e regiões metropolitanas [1]. O novo coronavírus vem destacando uma série de fraquezas dos sistemas de saúde do mundo, evidenciando os problemas no acesso aos recursos essenciais necessários para enfrentar essa pandemia, como falta de respiradores e equipamentos de proteção [2].

I. Costa, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, [costa\\_igor@id.uff.br](mailto:costa_igor@id.uff.br).

A. Sanseverino, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, [adrianams@id.uff.br](mailto:adrianams@id.uff.br).

M. Barcelos, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, [marabarceloss@gmail.com](mailto:marabarceloss@gmail.com).

M. Belderrain, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, São Paulo, Brasil, [carmen@ita.br](mailto:carmen@ita.br).

C. Gomes, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, [cfs1@bol.com.br](mailto:cfs1@bol.com.br).

M. Santos, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, [marcosdossantos\\_doutorado\\_uff@yahoo.com.br](mailto:marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br).

As facilidades de transporte entre países presentes na vida moderna fizeram com que o avanço dos casos de COVID-19 pelo mundo fosse rápido e intenso, o que levou as autoridades de diversos países a adotarem medidas de controle de transmissão não medicamentoso, como o isolamento social [3].

Um dos problemas que mais preocupam as autoridades de saúde dos países que apresentam um aumento considerável no número de casos do COVID-19 é o colapso do sistema hospitalar [4]. Em ambientes com recursos (e/ou estoques) mais baixos, os países têm pouco tempo para preparar estratégias de prevenção e gestão, incluindo a identificação de populações e regiões de alto risco [5].

Analisando a capacidade operacional dos Estados Brasileiros para o enfrentamento da COVID-19, os estados do norte e nordeste apresentam relações piores que as médias nacionais. Esta distribuição desigual parece interferir na condição de enfrentamento da doença com a possibilidade de impactar nas taxas de letalidade pela COVID-19 [6].

Em 26 de setembro de 2020, o Brasil registrava até o momento aproximadamente 4.700.000 casos, com mais de 140.000 mortes confirmadas. A região norte do Brasil enfrentava uma calamidade de saúde pública, com a maior relação de mortalidade/100mil habitantes do país. O Sudeste e o Nordeste são as regiões mais afetadas, considerando o número de casos, somando cerca de 3.000.000 de infectados [7]. Essa situação crítica, que oferece risco de colapso aos sistemas de saúde dos estados brasileiros, torna importante estudar formas de apoiar principalmente as cidades mais afetadas pela COVID-19.

Devido à complexidade da pandemia, faz-se mister a utilização de ferramentas eficientes, tanto para a estruturação e modelagem do problema a ser analisado, quanto para definição e ordenação de estratégias de solução. Para o entendimento da situação problemática, neste artigo é aplicado o método de estruturação muito utilizado em problemas de decisão denominado *Value-Focused Thinking* (VFT), visando definir os objetivos, alternativas, critérios e escolha do método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) a ser utilizado escolha da alternativa.

No processo para a tomada da decisão, a Engenharia de Produção se torna um mecanismo fundamental no assessoramento dos gestores [8]. Dentro desta grande área da

Engenharia, a Pesquisa Operacional (PO) é o campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas complexos do cotidiano [9].

Dentro do vasto campo da PO, o AMD possui relevância ímpar, proporcionando um embasamento técnico e científico, apoiando o decisor na escolha pela alternativa que supra as necessidades e anseios de forma mais eficiente.

Os métodos de AMD vêm sendo largamente utilizados para encontrar soluções no combate à pandemia, como no auxílio à tomada de decisão sobre estruturas para a transfusão do melhor plasma convalescente para os pacientes mais críticos [10]; em metodologia de benchmarking para seleção do modelo ideal de diagnóstico da COVID-19 [11]; em novas abordagens de topografia para identificar o fator de risco mais significativo e o monitoramento contínuo das mortes causadas pelo novo coronavírus [12]; e na seleção de um Navio de Assistência Hospitalar da Marinha do Brasil a ser empregado no combate à pandemia em Manaus [13]. Pode-se citar também o uso da PO para melhoria do atendimento do sistema hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro [14], que pode ser replicada no combate à pandemia.

Este artigo tem por objetivo selecionar, dentre os aviões-hospitais fabricados pela Embraer, quais os modelos seriam mais indicados a serem adquiridos pelo Poder Público no combate à pandemia de COVID-19. Para gerar a ordenação das alternativas, foi proposto e aplicado um novo método de AMD- o ELECTRE-MOr. O trabalho traz uma valiosa contribuição para a academia e sociedade como um todo, uma vez que representa a aplicação de um método de AMD no estado da arte para contribuir com a solução de um problema real que afeta milhões de pessoas no mundo. O texto é dividido em quatro seções: Introdução, Referencial Teórico, Estudo de Caso e Conclusão.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Para estruturação e escopo da situação problemática, neste artigo foi utilizado o processo de tomada de decisão que define duas fases: Fase divergente e convergente [15] (Fig. 1).

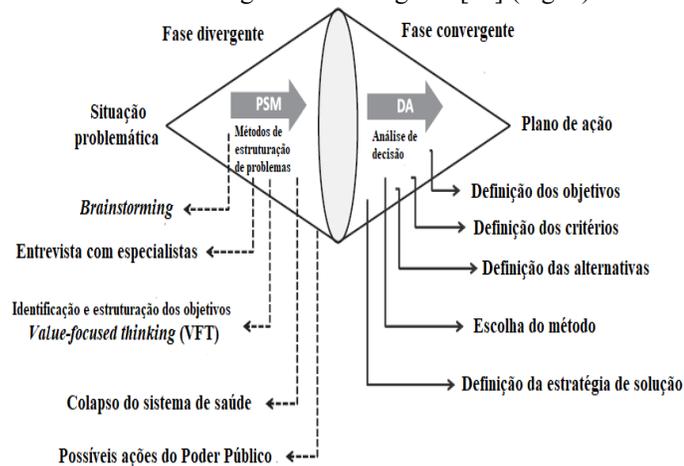


Fig. 1 . Processo de tomada de decisão. Adaptado de [16].

Durante a fase divergente, o objetivo principal é entender a

situação problemática. Para isso, foram realizados *brainstorming* pelos autores deste artigo e entrevistas com especialistas da área da saúde, buscando aprender conceitos importantes afetos ao problema da pandemia. A parte empírica desta pesquisa foi projetada para corresponder à complexidade intrínseca do cenário de pandemia enfrentado atualmente, que vem ocasionando o colapso de diversos sistemas de saúde espalhados pelo Brasil e pelo mundo. Ainda na fase divergente, foi verificada a necessidade de identificação e estruturação dos objetivos para a resolução do problema, notadamente as ações a serem tomadas pelo Poder Público no combate à pandemia, estabelecendo uma rede de objetivos de meios e fins. Durante esta fase, informações e ideias precisam estar bem estabelecidas e organizadas, uma vez que eles alimentam a segunda fase [16].

Na fase convergente, aplicando o conhecimento útil apreendido no estágio anterior, busca-se definir os objetivos, critérios e alternativas que comporão o modelo, visando definir as estratégias de solução do problema.

Existe a tendência de se enxergar situações que requerem decisões como problemas. Tipicamente, para a resolução desses problemas de decisão, são identificadas alternativas e só depois considerados os objetivos ou critérios para avaliá-los [17].

Valores podem ser definidos como princípios para avaliar o quanto cada possível alternativa ou consequência é desejável. Apesar de ser útil realizar iterações entre articular valores e criar alternativas, o princípio utilizado deve ser “valores primeiro” [18].

O VFT visa impulsionar um pensamento voltado para definir os objetivos que se almeja e então descobrir como alcançá-los. Os objetivos representam uma declaração do que se deseja obter e são caracterizados por um contexto, um objeto e uma direção de preferência, e se dividem em objetivos fundamentais e objetivos meio [19].

Os valores e conceitos foram separados em objetivos fundamentais e objetivos-meio, conforme apresentado na rede de objetivos (Fig. 2).

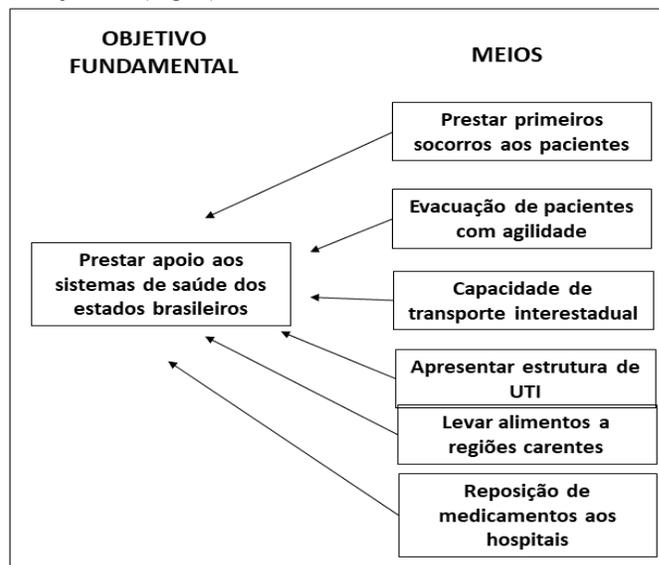


Fig. 2. Rede de objetivos (fundamentais e meios).

Analisando a rede de objetivos, observa-se seis objetivos-

meio: Prestar primeiros socorros; evacuação de pacientes; capacidade transporte/evacuação interestadual; possuir uma estrutura de UTI; levar alimentos a regiões carentes; e reposição de medicamentos aos hospitais mais afetados pela crise. O objetivo fundamental é a prestação de apoio aos sistemas de saúde dos estados brasileiros no combate à pandemia

Com os objetivos estabelecidos, os autores realizaram consulta a diversos especialistas em busca de obter as alternativas e critérios (para avaliar as alternativas) que possibilitariam um efetivo combate à pandemia, e concluíram que uma estratégia viável e eficiente seria o emprego de um avião-hospital, considerando que essa estratégia cumpre todos os objetivos considerados importantes para a análise.

Dentre os diversos aspectos que devem ser levados em consideração para escolha do método de AMD mais adequado para determinado tipo de análise, Silva e Melo (2018) destacam a compensação que pode haver entre os critérios no modelo de agregação.

Neste artigo foi aplicada uma nova ferramenta de AMD - o ELECTRE-MOR-, um método ordinal não-compensatório que facilita a expressão das relações de preferência pelos decisores, contribuindo para uma tomada de decisão transparente e confiável.

### A. Avião-Hospital

Um avião-hospital apresenta diversos recursos médicos, como desfibrilador, bomba de infusão, oxigênio, maca, monitor de batimentos cardíacos, sendo preparado para atender pacientes com quadros críticos ou que precisem ser transportados sob cuidados médicos [20].

Graças à atuação desse tipo de aeronave, ajudas humanitárias e resgates aéreos já salvaram milhões de pessoas ao longo da história [20]. A utilização de um avião-hospital no combate à pandemia permite encurtar tempo e distância, apresentando socorro aos sistemas de saúde de diversas cidades do país.

No contexto atual da COVID-19, a evacuação aeromédica de pacientes justifica-se pelo objetivo de transferir pacientes que necessitam de tratamento em um centro de maior complexidade e experiência tecnológica técnica, além de profissionais especializados na área de terapia intensiva [21].

### B. Os Métodos ELECTRE

Os métodos da família ELECTRE baseiam-se na lógica não compensatória para estabelecer relações de sobreclassificação entre pares de alternativas [22]. Uma alternativa “a” supera uma alternativa “b” (aSb) se a é pelo menos tão boa quanto b no critério em questão e esta é a principal ideia expressa pelo conceito de sobreclassificação [23].

A modelagem das relações de preferência considera relações de indiferença, preferência estrita e incompatibilidade [24], e a relação de sobreclassificação é submetida a níveis de corte estabelecidos por níveis de concordância mínima e discordância máxima [25].

Os métodos da família ELECTRE abrangem dois procedimentos principais: a construção de uma ou mais relações de sobreclassificação e, posteriormente, um procedimento de exploração [24].

Para estabelecer essas relações, os métodos ELECTRE I e II utilizam o verdadeiro critério, enquanto os métodos ELECTRE IS, III, IV e TRI utilizam pseudo-critérios [26]. Assim, verificam-se as relações de preferência – indiferença (I), preferência fraca (Q) e forte preferência (P) – dependendo do tipo de critério (1)(2)(3):

- Critério-verdadeiro:  $\begin{cases} aPb \text{ se } g(a) > g(b) \\ aIb \text{ se } g(a) = g(b) \end{cases}$  (1)

- Semi-critério:  $\begin{cases} aPb \text{ se } g(a) - g(b) > q \\ aIb \text{ se } g(a) - g(b) < q \end{cases}$  (2)

- Pseudo-critério:  $\begin{cases} aPb \text{ se } g(a) - g(b) > p \\ aQb \text{ se } p > g(a) - g(b) > q \\ aIb \text{ se } g(a) - g(b) < q \end{cases}$  (3)

Embora a escolha do limiar adequado não seja fácil em decisões mais realistas, há boas razões para a escolha de valores diferentes de zero para p e q [27].

Os métodos da família ELECTRE diferem operacionalmente de acordo com o tipo de problema. Os métodos relacionados à escolha (problemática P.α), também chamado de seleção, e ao ranking (problemática P.γ) comparam as alternativas entre si; já os métodos de distribuição (problemática P.β) comparam as alternativas a um conjunto de alternativas de referência [28]. As alternativas são avaliadas de acordo com os critérios estabelecidos.

A Tabela I apresenta um resumo das propriedades dos métodos ELECTRE:

TABELA I  
PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS MÉTODOS ELECTRE.

Métodos	Tipo de problema	Critério	Pesos
ELECTRE I	Escolha	Verdadeiro	Sim
ELECTRE IS	Escolha	Pseudo	Sim
ELECTRE II	Ranking	Verdadeiro	Sim
ELECTRE III, ELECTRE-GD	Ranking	Pseudo	Sim
ELECTRE IV e IV-H	Ranking	Pseudo	Não
ELECTRE TRI, TRI-B, TRI-C, TRI-nB, TRI-nC, TRI-Rc, ME	Distribuição	Pseudo	Sim
ELECTRE INTERCLASS	Distribuição	Pseudo	Sim
ELECTRE-SORT	Distribuição	Pseudo	Sim
ELECTRE-CBR	Data mining*	Pseudo	Sim
ELECTRE <sup>GKMS</sup> , Hierarchical ELECTRE <sup>GKMS</sup>	Escolha / Ranking	Pseudo	Sim

\* O método ELECTRE-CBR é um modelo híbrido que utiliza as propriedades da família ELECTRE para resolver problemas de data mining.

Todos os métodos ELECTRE são cardinais e não compensatórios. Verificou-se a inexistência de métodos ELECTRE com entrada de dados de forma ordinal, portanto este artigo visa preencher esta lacuna. Além disso, a proposta de elicitação ordinal, proposta neste artigo, permite a obtenção dos pesos por diversos decisores.

### C. O Método ELECTRE-MOR

O ELECTRE MOR é uma proposta de classificação de múltiplos critérios com entrada de pesos ordinal, que inclui múltiplos tomadores de decisão e distribui as alternativas em categorias predefinidas. Para o estabelecimento das relações de

preferência, o método estabelece três situações fundamentais de comparação entre as alternativas e os limites de classes predefinidas:

I – Preferência Fraca (q): Existem razões claras e positivas que não implicam uma preferência estrita em favor de uma (bem definida) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para que seja assumida uma preferência estrita em favor de outra, ou a indiferença entre elas;

II – Preferência estrita (p): Existem razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa em favor de uma (bem definida) das duas ações;

III – Veto (v): Limite definido para cada critério que fixa um valor para a diferença  $g_j(b) - g_j(a)$  (diferença em relação ao critério  $j$  e discordante da afirmativa aSb), a partir do qual não será aceita a proposição aSb [29].

Os procedimentos do ELECTRE MOr são desenvolvidos em duas etapas:

1) Transformar preferências ordinais de critérios em um vetor de pesos de critérios;

2) Integrar os critérios vetoriais de diferentes tomadores de decisão.

No procedimento de construção das relações de superação, o ELECTRE MOr utiliza uma adaptação do método *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors* (SAPEVO) [30] para gerar os pesos. Esta primeira etapa reúne três passos:

Notações:

$\delta_{ij}$  = elementos gerais

$i, j$  = critérios

$\ll$  é muito menos importante que

$<$  é menos importante que

$\approx$  é tão importante quanto

$>$  é mais importante que

$\gg$  é muito mais importante que

Passo 1:

$$\delta_{ij} = 1 \leftrightarrow i \approx j$$

$$\delta_{ij} > 1 \leftrightarrow i > j \quad \delta_{ij} \gg 1 \leftrightarrow i \gg j$$

$$\delta_{ij} < 1 \leftrightarrow i < j \quad \delta_{ij} \ll 1 \leftrightarrow i \ll j$$

Passo 2: a relação está associada à seguinte escala de cinco pontos, variando de -2 a 2, conforme a Tabela II:

Relação	Escala
$\ll$	-2
$<$	-1
$\approx$	0
$>$	1
$\gg$	2

Passo 3: essa relação associada a uma escala permite transformar a matriz  $D_k = [\delta_{ij}]$ , onde  $k$  = tomadores de decisão, em um vetor coluna  $[v_i]$ , de tal forma que (4):

$$\sum_{j=1}^m (c_i), \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } k = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Onde  $c_i$  representa os graus atribuídos na avaliação paritária

dos critérios, de acordo com a escala da Tabela II.

Terminado o processo de integração da matriz, é feita a normalização do vetor resultante, que garante a geração de valores não negativos (5):

$$\bar{c}_i = \left( \frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \right) \quad (5)$$

A partir do estudo dos métodos da família ELECTRE, foram desenvolvidos os índices de concordância, discordância e credibilidade. Na segunda etapa do método, esses índices são calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

(a) Índice de concordância:

A condição ( $p > q$ ) deve ser atendida para que o resultado do cálculo não seja igual a zero (6).

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \text{se } p_j \geq g_j(b_h) - g_j(a) > q_j & \\ 1 - \left( \frac{-g_j(b_h) + g_j(a) + q_j}{-p_j - q_j} \right) & \end{cases} \quad (6)$$

(b) Índice de concordância global (7):

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} w_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} w_j} \quad (7)$$

(c) Índice de discordância:

A condição ( $v > p$ ) deve ser atendida para que o resultado do cálculo não seja igual a zero (8).

$$d_j = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) \leq p \\ 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) > v \\ \text{se } v > g_j(a) - g_j(b) \geq p & \\ \left( \frac{g_j(a) - g_j(b) - p}{v - p} \right) & \end{cases} \quad (8)$$

(d) Índice de credibilidade (9):

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)} \quad (9)$$

(e) Obtenção dos limites das classes:

O método ELECTRE-MOr permite duas formas de estabelecer os perfis de classes –  $b_h$  e  $b_n$  (10) (11):

(e1)  $b_h$

$$b_h = g^- + h * k \quad (10)$$

Onde  $k = \frac{g^* - g^-}{h+1}$ ;  $g^* = \max_j g_{ij}$ ;  $g^- = \min_j g_{ij}$ ;  $h$  é o número de classes.

(e2)  $b_n$

$$b_n = g[(h + 1 - n) * L] \quad (11)$$

Onde  $L = \frac{j}{h+1}$ ;  $n$  é o índice do perfil;  $j$  é o número de alternativas e  $h$  representa o número de limites das classes.

(f) Nível de corte:

A afirmação aSbh significa que "a alternativa a não tem desempenho pior do que o perfil bh". Na validação da afirmação

aSbh, calcula-se um índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ , o qual expressa o grau de confiança da declaração "a não é pior que b". Para definir a relação de sobreclassificação, é adotado o nível de corte  $\lambda$  (12).

$$aSb_h \leftrightarrow \sigma(a, b_h) \geq \lambda \tag{12}$$

A distribuição é realizada por meio de dois procedimentos:

Otimista: consiste em comparar a alternativa sucessivamente à alternativa b, a partir do último perfil (categoria, classe);

Pessimista: consiste em comparar a alternativa a sucessivamente à alternativa b, partindo do primeiro perfil (categoria, classe), sendo esta a classificação mais exigente.

Devido ao fato de apresentar duas formas de obtenção dos limiares de classes predefinidas ( $b_h$  e  $b_n$ ), o ELECTRE-MOr apresenta duas ordenações das alternativas. O fato de apresentar duas ordenações após a aplicação do método permite uma análise de sensibilidade do resultado, conferindo maior transparência e robustez ao processo decisório [31].

### III. METODOLOGIA

Para a viabilização do presente estudo, foram consultados três decisores/especialistas em aeronaves, que avaliaram as alternativas à luz dos critérios estabelecidos, mediante aplicação do método ELECTRE-MOr. Para Fins didáticos, os decisores serão identificados como Decisor 1, Decisor 2 e Decisor 3.

Para compor o conjunto de alternativas, foram selecionados seis modelos de aeronaves fabricadas pela Embraer, as quais podem ser alteradas para prestarem algum tipo de transporte aeromédico: Phenom 100EV, Phenom 300E, Legacy 450, Legacy 500, Praetor 500 e Praetor 600.

As aeronaves foram avaliadas à luz dos seguintes critérios, selecionados pelos próprios decisores (Tabela III).

TABELA III  
RELACIONAMENTO E ESCALA

Critério		Definição
Alcance (Km)	C <sub>1</sub>	Distância máxima atingida pela aeronave sem necessidade de reabastecimento.
Comprimento (m)	C <sub>2</sub>	Distância da proa à popa da aeronave, medida no eixo longitudinal.
Distância de Decolagem (m)	C <sub>3</sub>	Distância necessária percorrida em solo antes da aeronave alçar voo.
Distância de pouso (m)	C <sub>4</sub>	Distância percorrida em solo de uma aeronave que aterrissa.
Capacidade de Bagagem (ft <sup>3</sup> )	C <sub>5</sub>	Volume disponível para transporte de insumos visando ajudas humanitárias.
Quantidade de pacientes	C <sub>6</sub>	Quantidade máxima de pacientes transportados em segurança pela aeronave.
Velocidade de cruzeiro (Km/h)	C <sub>7</sub>	Velocidade em que, graças à baixa densidade do ar, usa-se menos combustível.
Comprimento da cabine (ft)	C <sub>8</sub>	Comprimento útil da cabine, o qual poderia ser utilizado para transportar insumos ou passageiros.
Custo (US\$ Mi)	C <sub>9</sub>	Custo estimado de aquisição da aeronave.

Os critérios custo, comprimento, distâncias de pouso e decolagem foram considerados monotônicos de custo ou prejuízo, pois busca-se a minimização desses parâmetros.

### IV. ESTUDO DE CASO

Nesta seção é aplicado o método ELECTRE-MOr para escolha dos melhores aviões-hospitais a serem adquiridos no combate à COVID-19. Foi realizada pesquisa de literatura para obtenção dos dados operativos e custo estimado dos aviões analisados. Os dados operativos foram obtidos de páginas oficiais da Embraer [32]–[37], enquanto os custos estimados foram obtidos em [38]–[40].

A Tabela IV apresenta as alternativas, critérios, limiares de preferência, veto e os pesos dos critérios utilizados na análise. A primeira coluna é composta pelas alternativas, e as nove colunas seguintes, pelos critérios.

TABELA IV  
DADOS OPERATIVOS, LIMIARES DE PREFERÊNCIA, PESOS DOS CRITÉRIOS E LIMITES DAS CLASSES PREDEFINIDAS.

Avião	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
Phenom 100EV	2182	12,82	975	740	70	7	750	11	4,81
Phenom 300E	3722,52	15,84	962,7	675	84	10	859	17	10,6
Legacy 450	5378	19,68	1191	637	150	9	855	24	18,44
Legacy 500	5788	20,74	1245	647	155	12	864	27,6	22,25
Praetor 500	6186	19,68	867	636	150	9	862	24	18,9
Praetor 600	6888	20,74	1438	660	155	12	863	27,6	23,3
Pesos	0,1	0,05	0,1	0,05	0,15	0,2	0,1	0,05	0,2
b <sub>h</sub>	b <sub>1</sub> 3750,7	18,1	1247,7	705,3	98,3	8,7	788,0	16,5	17,1
	b <sub>2</sub> 5319,3	15,5	1057,3	670,7	126,7	10,3	826,0	22,1	11,0
b <sub>n</sub>	b <sub>1</sub> 5378	20,74	1191	660	150	9	859	24	18,9
	b <sub>2</sub> 6186	19,68	962,7	637	155	12	864	27,6	10,6
q	1500	2	50	100	15	2	40	3	4
Decisor 1	p	3000	5	70	120	50	4	70	4
	v	5000	10	500	200	70	5	120	8
q	1000	3	100	50	30	1	50	2	3
Decisor 2	p	2000	4	150	100	50	3	70	5
	v	6000	11	600	300	70	4	90	9
q	1200	5	200	30	10	3	30	5	6
Decisor 3	p	2300	7	350	80	30	5	40	8
	v	5500	12	700	200	70	7	80	10

Os pesos dos critérios foram obtidos após aplicação da adaptação do método SAPEVO, levando em consideração os pontos de vista dos três especialistas da área. Os valores de  $b_h$  e  $b_n$  foram obtidos mediante aplicação de (10) e (11).

Os limites de preferência estrita (p), preferência fraca (q) e veto (v) para cada critério foram estabelecidos por cada decisor, pois tais limiares representam a visão específica de cada especialista.

#### A. Análise dos Resultados

Após a aplicação de todas as etapas do ELECTRE-MOr, gera-se as ordenações pessimistas e otimistas nos dois cenários (utilizando  $b_h$  e  $b_n$ ), com nível de corte  $\lambda = 0,55$  (Tabela V).

TABELA V  
CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.

Alternativa	$b_h$		$b_n$	
	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista
Phenom 100EV	B	A	C	B
Phenom 300E	A	A	C	C
Legacy 450	A	A	A	A
Legacy 500	B	A	B	B
Praetor 500	A	A	A	A
Praetor 600	B	A	B	B

Analisando os resultados obtidos mediante a primeira forma de obtenção das classes  $b_h$ , observa-se que todas as alternativas apresentaram a melhor classificação no cenário otimista. Já no cenário pessimista, somente três permanecem na classe A – Phenom 300E, Legacy 450 e Praetor 500, com as demais tendo apresentado queda para a classe B.

No que concerne à segunda forma de obtenção dos limiares das classes ( $b_n$ ), observa-se uma situação bem diferente da primeira, com apenas duas alternativas apresentando a classificação mais alta no cenário otimista. Com essa forma de ordenação, observa-se pouca variação entre os cenários otimista e pessimista, com as alternativas Legacy 450 e Praetor 500 apresentando desempenho correspondente à classe A, sendo, portanto, as duas aeronaves mais indicadas após aplicação do ELECTRE-MOr.

Uma característica importante do método é a possibilidade de efetuar uma análise de sensibilidade, para verificar a robustez da solução encontrada (Tabela VI).

TABELA VI  
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, COM NÍVEL DE CORTE 0,65.

Alternative	$b_h$		$b_n$	
	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista
Phenom 100EV	B	A	C	B
Phenom 300E	A	A	C	C
Legacy 450	A	A	B	B
Legacy 500	B	A	B	B
Praetor 500	A	A	B	B
Praetor 600	B	A	B	B

Aumentando o nível de corte para 0,65, que torna a análise mais exigente, nota-se que, na primeira forma de obter os limites das classes, não houve alteração alguma com o aumento do nível de corte. Já na segunda, houve alterações significativas nas ordenações, com as alternativas Legacy 450 e Praetor 500, que haviam obtido desempenho A para  $\lambda=0,55$ , apresentando queda para a classe B nos cenários otimista e pessimista. Nenhuma das aeronaves apresentou desempenho A para essa forma de obtenção dos limites das classes. Contudo, avaliando as ordenações utilizando  $b_h$  e  $b_n$ , as mesmas duas aeronaves mais bem classificadas para  $\lambda=0,55$ , apresentaram a melhor classificação, o que corrobora com o resultado inicial, tornando a solução mais robusta e confiável.

Avaliando agora os motivos que levaram à ordenação final das alternativas, é possível observar que as duas aeronaves consideradas como as mais indicadas apresentam regularidade em todos os critérios, ao passo que as demais se destacam em alguns, porém apresentam baixos desempenhos nos demais.

O Praetor 500 apresenta o melhor desempenho nos critérios

distância de pouso e decolagem, além de ter bom alcance, excelente capacidade total de bagagem e velocidade de cruzeiro. No que concerne ao Legacy 450, observa-se desempenho parecido com o Praetor 500 na maioria dos critérios, à exceção do alcance, cerca de 20% menor, e o custo um pouco mais baixo.

As alternativas Legacy 500 e Praetor 600 apresentaram excelentes desempenhos nos critérios alcance, capacidade total de bagagem, ocupação máxima de pacientes e velocidade de cruzeiro, porém o péssimo desempenho no custo, comprimento e distância requerida para decolagem fizeram com que essas alternativas apresentassem queda na ordenação final.

As alternativas Phenom 100V e 300E se destacam no comprimento, distância de decolagem e custo, contudo apresentam péssimo desempenho nos demais critérios.

## V. CONCLUSÃO

Em face ao exposto, o objetivo deste artigo foi atingido, com a escolha das aeronaves Legacy 450 e Praetor 500 para serem adquiridas pela FAB e empregadas como aviões-hospitais em evacuações aeromédicas no combate à pandemia do novo coronavírus.

Vale ressaltar que, devido ao grande valor agregado de uma aeronave, e devido à grave restrição financeira enfrentada pelo país, o Phenom 300E também poderia ser uma boa opção, tendo em vista que obteve desempenho A para a forma  $b_h$  em ambos os valores de nível de corte avaliados, principalmente porque seu custo é notavelmente menor que as alternativas consideradas mais indicadas, além de apresentar boa capacidade de ocupação de pacientes.

Outro ponto importante é que, mesmo após o arrefecimento da pandemia, que deve ocorrer após a descoberta e disponibilização de uma vacina, os aviões-hospitais adquiridos podem continuar sendo utilizados em ajudas humanitárias a países mais pobres e em situações de pacientes críticos que necessitem de evacuação aeromédica para regiões com maior capacidade hospitalar.

Ressalta-se que o método ELECTRE-MOr se mostrou eficiente para a análise proposta, possibilitando entrada de pesos ordinal, levando em consideração a opinião de múltiplos decisores, tanto na obtenção dos pesos, quanto na elicitação dos limiares de preferência, veto e limites das classes predefinidas. A apresentação de duas ordenações, aliada à análise de sensibilidade, com aumento do nível de corte, permite verificar o comportamento das alternativas em cenários mais exigentes, o que torna a análise muito mais rica, robusta e transparente, tornando o método extremamente útil para resolução de problemas reais dos mais diversos tipos - táticos, operacionais e estratégicos -, sendo assim um método de grande utilidade voltado para a contribuição da tomada de decisão de alto nível.

Sugere-se que este modelo de distribuição em classes predefinidas de alternativas usando o ELECTRE-MOr pode ser expandido em outras aplicações na Saúde e nas Forças Armadas, buscando mais formas de auxílio no combate à pandemia.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. A. R. Alsaedy and E. K. P. Chong, "Detecting Regions At Risk for Spreading COVID-19 Using Existing Cellular Wireless Network Functionalities," *IEEE Open J. Eng. Med. Biol.*, vol. 1, pp. 187–189, 2020, doi: 10.1109/OJEMB.2020.3002447.
- [2] A. de Sutter, "Family medicine in times of 'COVID-19': A generalists' voice," *Eur. J. Gen. Pract.*, vol. 26, no. 1, pp. 58–60, Apr. 2020, doi: 10.1080/13814788.2020.1757312.
- [3] M. F. Costa, "Modelo de crença em saúde para determinantes de risco para contaminação por coronavírus," *Rev. Saude Publica*, vol. 54, p. 47, 2020.
- [4] R. Gutiérrez-Aguilar, F. Córdova-Lepe, M. T. Muñoz-Quezada, and J. P. Gutiérrez-Jara, "Model for a threshold of daily rate reduction of COVID-19 cases to avoid hospital collapse in Chile," *Medwave*, vol. 20, no. 3, p. e7871, 2020, doi: 10.5867/medwave.2020.03.7871.
- [5] L. F. M. Rezende, B. Thome, M. C. Schweitzer, P. R. B. de Souza-Júnior, and C. L. Szwarcwald, "Adults at high-risk of severe coronavirus disease-2019 (Covid-19) in Brazil," *Rev. Saude Publica*, vol. 54, p. 50, 2020.
- [6] C. S. de Castro, J. V. Holzgreffe Júnior, R. B. Reis, B. B. Andrade, and L. F. Quintanilha, "Pandemia da COVID-19: cenário do sistema de saúde brasileiro para o enfrentamento da crise," *Res. Soc. Dev.*, vol. 9, no. 7, p. e516974383, 2020.
- [7] Ministério da Saúde, "Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil," Ministério da Saúde, 2020. <https://covid.saude.gov.br/> (accessed Sep. 26, 2020).
- [8] M. dos Santos, M. da Costa, L. dos Reis, and M. Freitas, "Using the branch and bound algorithm to optimize the production of a plastic products industry," *Rev. Trab. Acadêmicos Lusófona*, vol. 2, no. 2, pp. 217–237, 2019.
- [9] L. F. H. de S. de B. Teixeira, P. C. C. Ribeiro, C. F. S. Gomes, and M. dos Santos, "Utilização do método SAPEVO-M com parâmetros do modelo SCOR 12.0 para ranqueamento dos fornecedores em uma cadeia de suprimentos de material hospitalar da Marinha do Brasil," *Revista Pesquisa Naval*, n. 31, Brasília, DF, pp. 1–13, 2019.
- [10] O. S. Albahri et al., "Helping doctors hasten COVID-19 treatment: Towards a rescue framework for the transfusion of best convalescent plasma to the most critical patients based on biological requirements via ml and novel MCDM methods," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 196, 2020, doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105617.
- [11] M. A. Mohammed, "Benchmarking Methodology for Selection of Optimal COVID-19 Diagnostic Model Based on Entropy and TOPSIS Methods," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 99115–99131, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2995597.
- [12] P. Majumder, P. Biswas, and S. Majumder, "Application of new topsis approach to identify the most significant risk factor and continuous monitoring of death of COVID-19," *Electron. J. Gen. Med.*, vol. 17, no. 6, 2020, doi: 10.29333/ejgm/7904.
- [13] I. P. de A. Costa, S. M. do N. Maêda, L. F. H. de S. de B. Teixeira, C. F. S. Gomes, and M. dos Santos, "Escolha de Navio de Assistência Hospitalar no Combate à pandemia da COVID-19," *Rev. Saude Publica*, vol. No prelo, 2020, doi: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054002792>.
- [14] M. dos Santos, R. S. Quintal, A. C. da Paixão, and C. F. S. Gomes, "Simulation of operation of an integrated information for emergency pre-hospital care in Rio de Janeiro municipality," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 55, pp. 931–938, 2015.
- [15] L. A. Franco and G. Montibeller, "Problem structuring for multicriteria decision analysis interventions," *Wiley Encycl. Oper. Res. Manag. Sci.*, 2010.
- [16] L. Abuabara, A. Paucar-Caceres, and T. Burrowes-Cromwell, "Consumers' values and behaviour in the Brazilian coffee-in-capsules market: Promoting circular economy," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 23, pp. 7269–7288, 2019.
- [17] R. L. Keeney, "Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking (Cambridge, MA: Harvard University)," 1992.
- [18] R. L. Keeney, "Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 92, no. 3, pp. 537–549, 1996.
- [19] R. L. Keeney, "Creativity in decision making with value-focused thinking," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 35, p. 33, 1994.
- [20] EMBRAER, "Avião-Hospital: O socorro chega a jato," *Journal of Wonder*, 2019. <https://journalofwonder.embraer.com/br/pt/55-aviao-hospital-o-socorro-chega-a-jato> (accessed Aug. 07, 2020).
- [21] E. M. Wanner, A. Gino La Rosa, S. María Carolina Cabrera, L. Carlos Polanco, and U. Xabier De Aretxabala, "Case reports: Aeromedical evacuation of patients COVID-19," *Rev. Chil. Anest.*, vol. 49, no. 3, pp. 416–424, 2020, doi: 10.25237/REVCHILANESTV49N03.021.
- [22] L. D. de O. Nepomuceno and H. G. Costa, "Analyzing perceptions about the influence of a master course over the professional skills of its alumni: A multicriteria approach," *Pesqui. Operacional*, vol. 35, no. 1, pp. 187–211, 2015.
- [23] J. Almeida-Dias, J. R. Figueira, and B. Roy, "A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 217, no. 3, pp. 567–579, 2012.
- [24] J. Figueira, V. Mousseau, and B. Roy, "ELECTRE methods," in *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, Springer, 2005, pp. 133–153.
- [25] C. F. S. Gomes and H. G. Costa, "Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito," *Production*, vol. 25, no. 1, pp. 54–68, 2015.
- [26] H. G. Costa, "Graphical interpretation of outranking principles," *J. Model. Manag.*, 2016.
- [27] C. E. D. de C. Infante, F. M. de Mendonça, and R. de A. B. do Valle, "Análise de robustez com o método Electre III: o caso da região de Campo das Vertentes em Minas Gerais," *Gestão & Produção*, vol. 21, no. 2, pp. 245–255, 2014.
- [28] K. Govindan and M. B. Jepsen, "ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 250, no. 1, pp. 1–29, 2016.
- [29] L. Gomes and C. F. S. Gomes, "Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério." São Paulo: Atlas, 2019.
- [30] L. Gomes, A.-R. Mury, and C. F. S. Gomes, "Multicriteria ranking with ordinal data," *Syst. Anal.*, vol. 27, no. 2, pp. 139–146, 1997.
- [31] L. P. de Souza, C. F. S. Gomes, and A. P. De Barros, "Implementation of new hybrid AHP-TOPSIS-2N method in sorting and prioritizing of an it CAPEX project portfolio," *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 17, no. 04, pp. 977–1005, 2018.
- [32] Phenom 100V, "Arrojado," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/phenom-100ev> (accessed Aug. 07, 2020).
- [33] Phenom 300E, "É possível aumentar a velocidade e segurança de um," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/phenom-300e> (accessed Aug. 07, 2020).
- [34] Legacy 450, "Extraordinário," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/legacy-450> (accessed Aug. 07, 2020).
- [35] Legacy 500, "Redefinindo a aviação executiva," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/legacy-500> (accessed Aug. 07, 2020).
- [36] Praetor 500, "A força da inovação quebrando paradigmas," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/praeator-500>. (accessed Aug. 07, 2020).
- [37] Praetor 600, "Performance invejável com alcance intercontinental," EMBRAER, 2020. <https://executive.embraer.com/br/pt/praeator-600> (accessed Aug. 07, 2020).
- [38] J. Bogaisky, "Embraer apresenta dois novos jatos executivos para 2019," *Forbes*, 2018. <https://forbes.com.br/negocios/2018/10/embraer-apresenta-dois-novos-jatos-executivos-para-2019/> (accessed Jul. 10, 2020).
- [39] V. Casagrande, "Avião da Embraer é o jato executivo mais usado no Brasil e custa US\$ 4,5 mi," *Todos a bordo*, 2019. <https://economia.uol.com.br/todos-a-bordo/2019/11/03/jato-executivo-da-embraer-e-o-mais-popular-no-brasil-com-86-avioes-conheca.htm> (accessed Aug. 07, 2020).
- [40] T. Vinholes, "Embraer vende primeiros jatos Phenom 300E e Praetor 600 no Brasil," *Airway*, 2019. <https://www.airway.com.br/embraer-vende-primeiros-jatos-phenom-300e-e-praeator-600-no-brasil/#:~:text=O novo jatinho da Embraer,US%24,9%2C45 milhões> (accessed Aug. 07, 2020).



**Igor Pinheiro de Araújo Costa** é bacharel em Ciências Navais pela Escola Naval (2014). Atualmente é aluno de Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e desenvolve pesquisas na área de Sistemas de Apoio à Decisão, com modelos multicritério aplicados em gerência de riscos, eficiência energética, energias renováveis e aplicações militares.



**Adriana Manzolillo Sanseverino** é Doutoranda em Engenharia de Produção (UFF), Mestre em Sistemas de Gestão (UFF, 2015) e Graduada em Pedagogia (UERJ, 1999). Ocupa o cargo de Técnico em Assuntos Educacionais na UFF. Elaborou um Plano de Ação para o cargo público “Técnico em Assuntos Educacionais” do quadro permanente das Instituições Federais de Ensino brasileiras.



**Mara Regina dos Santos Barcelos** é Doutoranda em Engenharia de Produção (UFF), Mestre em Engenharia de Produção (Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 2013), Especialista em Educação a Distância (Faculdades Integradas de Jacarepaguá-FIJ, 2011) e Graduada em Tecnologia em Desenvolvimento de Software (Instituto Federal Fluminense, 2009).



**Mischel Carmen Neyra Belderrain** é Professora Titular do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Possui Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo ITA. Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE/UFRJ. Graduação em *Investigación Operativa - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, Lima, Peru. Consultor *ad-hoc* da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, CAPES e CNPq. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Pesquisa Operacional, atuando principalmente nos seguintes temas: Métodos de estruturação de problemas (PSM), Métodos de apoio à decisão multicritério e Multimetodologia.



**Carlos Francisco Simões Gomes** é Professor Associado da UFF. Possui Doutorado em Engenharia de Produção pela UFF (1999), Mestrado em Engenharia de Produção pela UFF (1995) e Graduação em Ciências Navais pela Escola Naval (1984). Atua na área de Logística, Gerenciamento de Projetos, Sistemas de Informação com foco em Acessibilidade e Usabilidade, Análise de Decisões, Métodos Analíticos

aplicados à solução de problemas empresariais Brasileiros e Planejamento Estratégico com uso de TI.



**Marcos dos Santos** é Professor do Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação (PPgSC) do Instituto Militar de Engenharia (IME). Possui Doutorado em Engenharia de Produção (UFF). Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Licenciado em Matemática e Especialista em Instrumentação e Matemática (também pela UFF). Bacharel em Ciências Navais pela Escola Naval.