57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Análise Multicritério CROWN para Suporte à Decisão na Seleção de Drones para Aplicações no Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)

Thaís Evelin Santos de Oliveira[1,2*], Gilson Brito Alves Lima[2], Marcos dos Santos[3], Igor Pinheiro de Araújo Costa[1,2]
[1]Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
[2]Universidade Federal Fluminense (UFF)
[3]Instituto Militar de Engenharia (IME)
*E-mail: thaisevelin@id.uff.br

RESUMO

A evolução tecnológica na defesa impulsiona o uso de Veículos Não Tripulados (VNT) em missões críticas e de alto risco, como guerra antissubmarino e contramedidas de minagem. Destacam-se também os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), amplamente utilizados em operações civis e militares, especialmente em Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR). No Brasil, o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) desenvolve projetos como o Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada (CITRA) e o Veículo de Superfície Não Tripulado (VSNT), que integram tecnologias avançadas para aprimorar a consciência situacional marítima. A seleção do RPAS para tais iniciativas é desafiadora, dada a diversidade tecnológica disponível. Este trabalho utiliza o método *Communalities on Ranking and Objective Weights Method* (CROWN), que combina Aprendizado de Máquina e Métodos Multicritério, para selecionar a alternativa mais adequada. A pesquisa oferece uma abordagem decisória robusta, com impactos relevantes para a eficácia operacional na área da defesa.

PALAVRAS CHAVE. CROWN, CASNAV, Drones, Apoio Multicritério à Decisão.
Tópicos: SEPODMAR – PO em Defesa e Poder Marítimo; D&SP - PO em Defesa e Segurança.

ABSTRACT

Technological advances in defense are driving the use of Unmanned Ground Vehicles (UGVs) in critical and high-risk missions, such as anti-submarine warfare and countermeasures against mines. Also noteworthy are Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), widely used in civil and military operations, especially in Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR). In Brazil, the Naval Systems Analysis Center (CASNAV) develops projects such as the Augmented Reality Tactical Image Console (CITRA) and the Unmanned Surface Vehicle (VSNT), which integrate advanced technologies to improve maritime situational awareness. Selecting the ideal RPAS for such initiatives is challenging, given the diversity of technology available. This work uses the Communalities on Ranking and Objective Weights Method (CROWN), which combines Machine Learning and Multicriteria Methods, to select the best and most suitable alternative. The research offers a robust decision-making approach with relevant impacts on operational effectiveness in the defense area.

KEYWORDS. CROWN. CASNAV. Drones. Multicriteria Decision Aid.
Paper topics: SEPODMAR – OR in Defense and Sea Power; D&SP - OR in Defense and Security.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

1. Introdução

A evolução tecnológica no campo da defesa e segurança tem impulsionado o desenvolvimento de soluções inovadoras para monitoramento e proteção de áreas estratégicas. Nesse contexto, os Veículos não Tripulados (VNT) estão entre as novas tecnologias que as forças armadas ao redor do mundo estão empregando para desenvolver novas capacidades. Estes veículos podem ser equipados com sensores e armas, podendo ser operados remotamente, de forma semiautônoma ou, a depender de avanços tecnológicos, de forma autônoma. Diversas Marinhas desenvolvem programas de experimentação de tais veículos com aplicações em tarefas distintas como a guerra antissubmarino, contramedidas de minagem, esclarecimento e logística, entre outras. Como uma de suas principais vantagens, os VNT podem ser particularmente adequados para missões de longa duração que exigiriam elevada resistência física, ou missões que representem um alto risco para a tripulação [Da Silva e Da Fonseca, 2023].

Adicionalmente ao contexto de soluções inovadoras emerge o uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS - Remotely Piloted Aircraft System), popularmente conhecidos por drones, que apresentam diversas finalidades, tais como processamento de imagens, transporte de cargas, arqueologia, agricultura, manufatura, saúde, vigilância e reconhecimento [Ayar et al. 2023].

De acordo com Valavanis e Vachtsevanos [2015], os RPAS com capacidades de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR - Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance), representados por veículos não tripulados são um relevante trunfo militar.

Segundo Loureiro et al. [2021], o uso e a pesquisa de RPAS vêm aumentando ao longo dos anos devido à aplicabilidade em diversas operações como busca, salvamento, entrega e vigilância.

De acordo com o Plano Estratégico da Marinha [PEM 2040], “Conhecimento, Ciência, Tecnologia, Inovação e Engenharia” assumem elevada relevância para o preparo e emprego do Poder Naval em um cenário político-estratégico e econômico dinâmico que contém ameaças [Marinha do Brasil, 2020]. Baseado nisso e atento as novas tendências, o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT) da Marinha do Brasil (MB), cuja missão é realizar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, a fim de contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico da MB e do País [CASNAV 2024], iniciou, em 2020, o desenvolvimento do projeto Console de Imagens Táticas de Realidade Aumentada (CITRA), que trata-se, de um sistema nacional para monitoramento do tráfego marítimo, utilizando tecnologias no estado da arte que possibilitam ao operador visualizar uma imagem real produzida por câmeras de monitoramento, combinada com elementos sintéticos advindos de sensores componentes do ambiente de comando e controle marítimo, por meio de uma técnica conhecida como Realidade Aumentada. O sistema permite efetivo aumento do monitoramento da movimentação de embarcações no entorno de uma zona portuária e da consciência situacional marítima dos responsáveis pela Segurança do Tráfego Aquaviário [De Moraes et al. 2022].

Complementarmente, em 2021, iniciou-se o desenvolvimento do projeto denominado Veículo de Superfície não Tripulado – Experimental (VSNT-E), buscando a conversão de uma lancha convencional em uma ausente de tripulação. Após a conclusão do projeto inicial e expressivos resultados alcançados nos testes aos quais foi submetido, atualmente encontra-se em andamento o desenvolvimento de um VSNT para aplicação em operações de contramedidas de minagem (CMM). Ambos os projetos CITRA e VSNT representam esforços convergentes do CASNAV para ampliar a consciência situacional marítima e a capacidade de resposta em operações de alto risco.

Neste cenário de soluções inovadoras, a integração das tecnologias de RPAS, com os Projetos VSNT e CITRA representará um avanço significativo na capacidade operativa de monitoramento das forças armadas.

Neste diapasão, a tarefa de selecionar uma opção de RPAS de monitoramento mais adequada às necessidades específicas de integração com o VSNT e o CITRA, ambos

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

desenvolvidos pelo CASNAV não é simples pela elevada quantidade, diversidade e complexidade dos modelos dessas aeronaves existentes. Por essa razão, o presente trabalho utilizará as técnicas de Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (*Multicriteria Decision-Making* – MCDM) para o gerenciamento de forma eficaz da seleção adequada de RPAS de monitoramento, considerando múltiplos critérios, de forma a atender às demandas específicas desse setor.

O método Communalities on Ranking and Objective Weights Method (CROWM) [Costa et al. 2024a], o qual emprega Análise por Componentes Principais (PCA), técnica não supervisionada de Aprendizado de Máquina (AM) e Apoio Multicritério à Decisão (AMD), será aplicado para calcular os pesos dos critérios e avaliação de desempenho de alternativas de forma objetiva, para obtenção do ranking dos RPAS a serem empregados nos projetos desenvolvidos pelo CASNAV. Essa abordagem visa combinar e aproveitar os pontos fortes de diferentes técnicas de avaliação multicritério, a fim de fornecer uma estrutura robusta e eficaz para a tomada de decisões.

De modo a estabelecer uma razoável estrutura metodológica, apresenta-se na seção 2 aspectos de referenciais normativos. A seção 3 apresenta os aspectos metodológicos, enquanto a seção 4 detalha os resultados. Finalmente uma breve conclusão é apresentada na seção 5.

2. Referencial teórico

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos referentes aos métodos Soft Systems Methodology (SSM) e CROWN com o intuito de identificar a contribuição para uma tomada de decisão mais assertiva e confiável.

2.1 Soft Systems Methodology (SSM)

O Soft Systems Methodology (SSM) desenvolvido por Checkland [1981] é uma abordagem da Pesquisa Operacional e Gestão de Sistemas, desenvolvida para lidar com desafios organizacionais complexos que não são adequados para métodos tradicionais. A SSM se destaca por sua capacidade de abordar problemas que envolvem interações humanas e componentes sociais, elementos que frequentemente dificultam a aplicação de soluções matemáticas ou otimizadas [Viscardi et al. 2024]. Em vez de focar em respostas precisas, a SSM busca melhorar as situações problemáticas, integrando as diferentes perspectivas e interações dos stakeholders envolvidos. Entre os conceitos inovadores introduzidos pela SSM estão os Modelos Conceituais de Atividades e a Aprendizagem Iterativa, que permitem uma abordagem mais flexível e adaptativa aos problemas complexos. O autor Georgiou [2015] apresenta uma reconfiguração da SSM, condensando as ideias de Checkland [1981] em apenas três etapas, facilitando o processo pedagógico e tornando a sua aplicação mais compreensível e adaptável.

As três etapas são:

1. Identificação e análise da situação problemática: consiste na compreensão inicial do problema, envolvendo a coleta de dados e a identificação dos stakeholders e suas perspectivas. Esse processo permite a criação da Figura Rica, uma ferramenta distintiva da SSM que oferece uma representação visual das interações e relações da problemática.
2. Identificação mudanças desejáveis (transformações): são geradas as transformações desejadas, refletindo as diferentes perspectivas dos stakeholders;
3. Delinear e debater modelos para operacionalizar as transformações (planejamento sistêmico): nesta etapa as transformações são contextualizadas no que se chama de CATWOE (Customer – Actors Transformation - Weltanschauung – Owners Environment), seguido de uma declaração de intenção na forma de uma definição raiz.

Com base no CATWOE, foi realizada a escolha do método multicritério e teve como base as características do problema de seleção podendo ser alcançado a partir da elaboração de um ranking. Para isso, foi utilizado o método multicritério de apoio à decisão CROWN.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

2.2 Método CROWN

O método CROWN proposto por Costa et al. [2024a], foi desenvolvido no Instituto Militar de Engenharia (IME), e é um método de suporte à tomada de decisão multicritério que emprega a Principal Component Analysis (PCA), uma técnica não supervisionada de Machine Learning, e MultiCriteria Decision Analysis (MCDA) para calcular o peso dos critérios e avaliar as alternativas.

2.2.1 Passos do Método CROWN

O processo de aplicação do CROWN integra o método multicritério Method based on the Removal Effects of Criteria (MEREC) com aprendizado de máquina, e sua aplicação pode ser realizada em 4 passos:

Passo 1. Calcular os pesos dos critérios objetivamente utilizando o MEREC, que usa efeitos de remoção de critérios no desempenho agregado para calcular os pesos objetivamente [Keshavarz-Ghorabaee et al. 2021], envolvendo seis etapas principais:

I. Estabelecimento da Matriz de Decisão;

II. Determinação da Matriz de Decisão Normalizada;

III. Determinação do desempenho geral das alternativas (Si);

IV. Desempenho das alternativas removendo cada critério (S'ij);

V. Cálculo do efeito de remoção de cada critério (Ej):

$$Ej = \sum |Sij' - Si|i \quad (1)$$

VI. Cálculo do peso dos critérios (ωj):

$$\omega j = \frac{Ej}{\Sigma k\ Ek} \quad (2)$$

Passo 2. Realizar o cálculo dos pesos pelas cargas fatoriais da PCA representando a importância de cada critério na formação dos componentes principais (PC). Consideram-se apenas PCs com autovalores maiores que 1 (k), conforme o critério de Kaiser [Ruscio e Roche 2012]:

I. Cálculo do peso do j - ésimo critério pelas cargas fatoriais [φj];

II. Cálculo dos pesos pelas cargas fatoriais [$\omega'' j$]:

$$\omega''_j = \frac{\varphi_j}{\sum_{j=1}^{m} \varphi_j} \quad (3)$$

Passo 3. Cálculo dos pesos dos critérios pelo CROWN, a partir dos pesos derivados de (2) e (3), é possível calcular os pesos pelo CROWM (ω_j):

$$\omega_j = \frac{\omega_{j+\square'\omega_j''}}{2} \quad (4)$$

Passo 4. Avaliação de desempenho das alternativas envolvendo oito etapas principais:

I. Estabelecimento da matriz de correlações ρ proveniente da Matriz de Decisão;

II. Elaboração do teste de esfericidade de Bartlett, comparando a matriz de correlação de Pearson com uma matriz de identidade para avaliar a significância estatística das discrepâncias a um nível de significância de 5%. Um valor significativo indica que a PCA pode ser utilizada, pois as variáveis são suficientemente correlacionadas para a análise [Bartlett,1954; Fávero e Belfiore, 2017];

III. Determinação dos autovalores e de suas respectivas variâncias compartilhadas;

IV. Determinação dos autovalores;

V. Determinação dos scores fatoriais (Sk);

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

VI. Determinação dos fatores (Fki);
VII. Determinação das cargas fatoriais e comunalidades $\alpha^2ij = Cij$; e (5)
VIII. Cálculo das pontuações das alternativas (Pn):

$$P_n = \sum_{i=1}^{k^{max}} \sum_{j=1}^{m} F_{\square} C_{ji} \omega_j \quad (6)$$

3. Metodologia

De acordo com a classificação proposta por Creswell e Creswell [2017], esta pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa-quantitativa, combinando estudo de caso e modelagem matemática [Bertrand e Fransoo 2002]. O foco da investigação é a seleção de drone de monitoramento a ser aplicado em conjunto com o VSNT e o CITRA, ambos projetos desenvolvidos pela ICT CASNAV. A estruturação do problema foi conduzida por meio do método SSM e o método CROWN para gerar o ranking dos drones avaliados. O método CROWN foi adotado por sua capacidade de integrar múltiplos critérios de forma estruturada, lidando adequadamente com a complexidade e as características do problema analisado.

3.1 Aplicação da SSM

De forma a estruturar o problema de pesquisa foi identificado a situação problemática, resultando na figura rica, figura 1, que captou as conexões e perspectivas dos diferentes stakeholders.

Figura 1: Figura rica – Avaliação de aquisição de drones



Fonte: Autores [2025]

Da figura rica, destaca-se o contexto da utilização do drone, seu funcionamento e atores. Visualizam-se, por exemplo, os principais componentes do sistema representados em sua interdependência: o drone aéreo, o CITRA e o VSNT comunicando-se por meio de fluxos de dados com o centro de comando, onde operadores monitoram informações em tempo real. A presença de uma equipe de pesquisa e desenvolvimento reflete o esforço contínuo de inovação tecnológica, enquanto a matriz de decisão destaca os critérios relevantes, como envergadura, autonomia, velocidade, peso, paylod e custo, evidenciando os trade-offs inerentes ao processo. O ambiente marítimo com ondas e desafios climáticos reforça a complexidade operacional e as exigências de robustez tecnológica. A integração dos elementos e os conflitos destacados proporcionam uma visão abrangente das variáveis críticas, contribuindo para a compreensão dos desafios e possibilidades envolvidos na implementação de sistemas integrados de monitoramento em um ambiente operativo militar.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

Adicionalmente, a SSM foi utilizada com a análise CATWOE descrita na figura 2, encapsulando os elementos-chave da avaliação da seleção de drones de monitoramento usando técnicas de MCDM.

Figura 2: Análise CATWOE.



Fonte: Adaptado de [Costa et al. 2024b]

O CATWOE estruturou a análise crítica em torno do estudo, concentrando-se em Clientes (C), Atores (A), Transformações (T), Visão de mundo (W), Proprietários (O) e Restrições ambientais (E). O principal objetivo dessa análise é apresentar uma metodologia científica que possa ser replicada nesse caso e em vários problemas na esfera militar e nos campos científicos.

3.2 Aplicação do método CROWN

Inicialmente, foram realizadas entrevistas com 2 especialistas em drones, aplicados em atividades de ciência e tecnologia.

A Tabela 1 apresenta os critérios considerados importantes para a análise proposta neste artigo.

Tabela 1: Apresentação e descrição dos critérios em análise.

Critério	Unidade de Medida	Descrição	Mono tonicidade
Envergadura	mm	Reflete a dimensão estrutural do RPAS	Lucro
Autonomia máxima	minutos	Quantidade de tempo que o RPAS pode voar sem necessitar de pouso	Lucro
Velocidade máxima	Km/h	Velocidade máxima do RPAS em km/ h (quilômetros por hora)	Lucro
Peso	g	Peso total do RPAS	Custo
Carga Útil	g	Capacidade máxima que o RPAS pode	Lucro

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

		transportar, incluindo sensores adicionais ou outros equipamentos.	
Preço Médio	US$	Preço por unidade de RPAS RTF	Custo

Fonte: Autores [2025]

Ainda com o auxílio dos especialistas, foi estabelecido o conjunto de alternativas para compor a matriz de decisão, ilustrada na Tabela 2. Os critérios monotônicos de custo, peso e custo, tem seus valores multiplicados por menos um, de acordo com o estabelecido por Costa et al. [2024a].

Tabela 2: Matriz de decisão quantificada.

Alternativas	Envergadura	Autonomia Máxima	Velocidade Máxima	Peso	Carga Útil	Custo
DJI Mavic 3 Pro	380	43	75	-895	500	-2.199
DJI Air 3	311	46	68	-720	500	-1.099
DJI Phantom 4 Pro V2.0	350	30	72	-1.375	600	-1.599
DJI Matrice 30	668	41	82	-3.770	2.700	-13.700
DJI Agras T25	1368	20	20	-32.000	25.000	-15.000
DJI Inspire 2	605	27	94	3440	1800	-3.299
DJI Matrice 300 RTK	885	55	83	6300	2700	-13.200
DJI Mavic 2 Enterprise	354	31	72	905	500	-1.000

Fonte: Autores [2025]

Segundo Maroquio [2020], vários fabricantes produzem RPAS RTF (Ready-to-Fly) de pequeno porte passíveis de uso em pesquisas. Como vantagem, as RPAS RTF permitem que o pesquisador dedique se à camada de software de mais alto nível, pois o equipamento já vem calibrado e testado de fábrica. As RPAS RTF podem ser utilizadas para aplicações ISR, desde que sejam equipados com os sensores e tecnologias apropriados para essas funções. Embora muitos RPAS RTF sejam projetados para uso recreativo ou semi-profissional, diversos modelos disponíveis no mercado oferecem recursos avançados que os tornam adequados para operações militares.

As alternativas apresentadas foram escolhidas de acordo com características usualmente requeridas por ARPs de pesquisa, a saber: autonomia de voo mínima de 15 minutos e capacidade de carga útil mínima de 300g. As quantificações dos critérios foram obtidas considerando as especificações técnicas do fabricante de cada alternativa.

4. Resultados

Nesta seção serão detalhados os resultados, de acordo com a metodologia utilizada, que segue os passos principais do CROWN. Foi utilizada a plataforma computacional do CROWN, disponível no link https://crowm.ime.eb.br/gratuitamente, desenvolvida por Costa et al. [2024c]. A análise teve início empregando os valores da Matriz de Decisão apresentada na Tabela 2 na aba Data Input da plataforma que permitiu inserir os dados para análise. Na aba performance foi possível obter o resultado da avaliação de desempenho, pontuação das alternativas e o ranqueamento, de acordo com a Figura 3. Foram exibidos os valores dos dois primeiros fatores principais (PC1 e PC2) para as diversas alternativas de RPAS. O RPAS DJI Air 3 se destacou como o mais bem ranqueado, com uma pontuação de 0,45, indicando que ele é o mais bem avaliado entre as alternativas consideradas. Essa pontuação reflete o desempenho do RPAS em relação aos critérios estabelecidos na análise multicritério.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

Performance

Show 25 entries

Alternative	Performance	PC1	PC2
DJI Air 3	0.4520785	0.6085384711	-0.12437704
DJI Mavic 3 Pro	0.4277983	0.5672295221	-0.07549912
DJI Matrice 300 RTK	0.3069208	-0.0009322996	1.94129802
DJI Mavic 2 Enterprise	0.2183428	0.4652490496	-0.89829994
DJI Phantom 4 Pro V2.0	0.1887146	0.4289538240	-0.90769677
DJI Matrice 30	0.1794586	0.0176597163	1.04602791
DJI Inspire 2	0.1654440	0.3223019738	-0.53277759
DJI Agras T25	-1.9387576	-2.4090002574	-0.44867547

Fonte: Autores [2025]

A Tabela 3 apresenta os parâmetros da PCA, incluindo os autovalores, a variância explicada por cada PC e a variância acumulada. Os autovalores foram derivados da matriz de covariância dos dados descritos na Tabela 2 e refletem a magnitude da variância capturada por cada componente. O PC1 apresenta um autovalor de 4,33, indicando que concentra a maior parte da variância dos dados analisados. A variância indica a quantidade de variação dos dados que cada PC é capaz de explicar, com o PC1 agregando 72% e o PC2 19,98%. A variância explicada pelos outros componentes é significativamente menor. A variância acumulada indica a proporção cumulativa da variância total explicada à medida que novos PCs são adicionados. O PC1 e o PC2 juntos explicam 92,22% da variância total. Embora o método CROWM usualmente utilize PCs com autovalores maiores que 1, neste caso, foram empregados os dois primeiros PCs para uma maior representatividade dos dados originais. Esta abordagem, alinhada às recomendações de Dugger et al. [2022], contribui para uma análise mais robusta e representativa.

Tabela 3: Autovalores e variâncias.

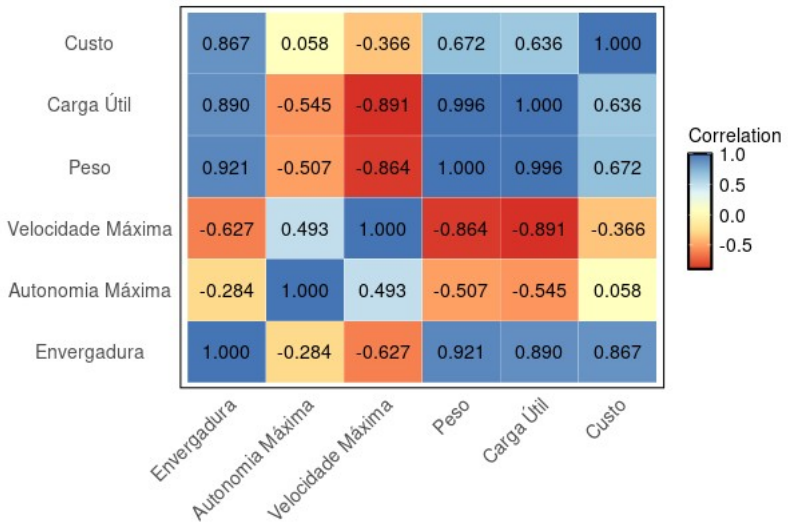
Parâmetros da PCA	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Autovalores	4,334	1,199	0,389	0,073	0,004	0,00
Variância	72,24%	19,98%	6,49%	1,22%	0,07%	0%
Variância Acumulada	72,24%	92,22%	98,71%	99,92%	100%	100%

Fonte: Autores [2025]

A Figura 4 apresenta o Mapa de Calor que contém as correlações entre os critérios analisados, onde as cores representam a força e a direção das correlações. Tons de azul indicam correlações positivas fortes, enquanto tons de vermelho indicam correlações negativas. A correlação entre "Envergadura" e "Peso" é extremamente alta (0,921), representada por uma cor azul intensa, sugerindo uma forte relação positiva. Em contraste, "Velocidade Máxima" tem correlações negativas significativas com vários critérios, como "Peso" (-0,864) e "Carga útil" (-0,891), indicadas pelos tons de vermelho.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

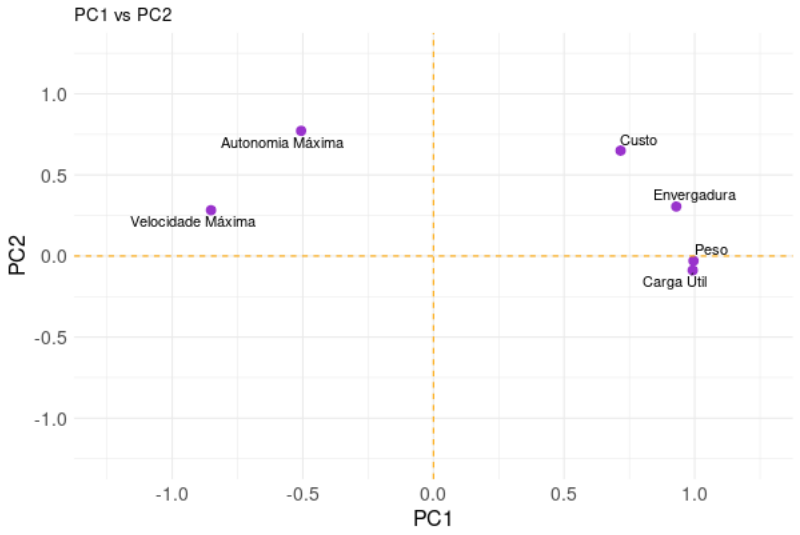
Figura 4: Mapa de Calor entre os critérios de desempenho.



Fonte: Autores [2025]

A Figura 5, apresenta um gráfico de cargas fatoriais, loading plot, que mostra a relação entre PC1, PC2 e os critérios utilizados na análise. O gráfico ilustra como cada critério se alinha com os dois primeiros componentes principais, que juntos explicam a maior parte da variância nos dados. No gráfico, os critérios "Peso," e "Carga útil,"estão fortemente agrupados em direção ao PC1, sugerindo que esses critérios têm uma influência significativa e semelhante sobre o primeiro componente principal. Isso significa que eles compartilham uma correlação positiva entre si e contribuem de maneira similar para a variância explicada pelo PC1. Por outro lado, os critérios "Autonomia Máxima" e “Velocidade Máxima” estão posicionados de forma distante dos demais critérios, especialmente em relação ao PC2, o que indica que eles tem uma influência distinta, capturada principalmente pelo PC2. Esse distanciamento sugere que esses critérios captam um aspecto do desempenho dos RPAS que não são fortemente correlacionados com os outros critérios.

Figura 5: Loading plot



Fonte: Autores [2025]

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

Além da identificação da alternativa mais adequada, a análise evidencia como os critérios priorizados refletem as necessidades estratégicas do CASNAV, reforçando a aplicabilidade prática da metodologia.

5. Considerações finais

Este estudo alcançou seu objetivo ao aplicar o método multicritério Communalities on Ranking and Objective Weights Method (CROWN) na seleção de drones para integração em projetos estratégicos do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV). A aplicação do método demonstrou sua eficácia em consolidar critérios técnicos e operacionais em uma análise sistemática e estruturada, proporcionando uma ferramenta robusta para o suporte à decisão em contextos de alta complexidade e relevância estratégica.

A análise permitiu identificar o DJI Air 3 como a alternativa mais adequada para as necessidades específicas dos projetos CITRA e VSNT, refletindo seu desempenho superior em critérios-chave como autonomia e custo. Este resultado reforça o potencial do método CROWN como uma abordagem inovadora para problemas decisórios no âmbito da defesa e segurança pública, no qual as demandas por precisão e confiabilidade são críticas.

Além de sua contribuição prática, o estudo oferece avanços metodológicos ao integrar técnicas de aprendizado de máquina com métodos multicritério, ampliando as possibilidades de aplicação em diversos cenários de tomada de decisão. Para futuras investigações, sugere-se a inclusão de critérios adicionais, como sustentabilidade, capacidade de integração tecnológica e análise de ciclo de vida dos equipamentos, visando aprofundar a compreensão dos trade-offs e expandir a aplicabilidade do modelo. Adicionalmente, recomenda-se a replicação da metodologia em outros domínios da administração pública e setores industriais, promovendo a articulação interdisciplinar e contribuindo para o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficientes.

Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se a comparação dos resultados obtidos com outros métodos de apoio à decisão, de modo a evidenciar a robustez do CROWN frente a alternativas já consolidadas na literatura. Sugere-se ainda o aprofundamento da análise de sensibilidade e a apresentação de intervalos de confiança para as pontuações das alternativas, de forma a ampliar a precisão dos resultados. Adicionalmente, destaca-se a importância de discutir de maneira mais aprofundada as limitações do método e suas possíveis evoluções, contribuindo para o avanço de pesquisas nessa linha.

Assim, o presente trabalho não apenas cumpre seu propósito imediato, mas também estabelece um referencial teórico e prático para futuras pesquisas, consolidando-se como uma valiosa contribuição para os campos da pesquisa operacional e engenharia de sistemas aplicados à defesa.

Agradecimentos

O autor Lima, G. B. A. agradece o apoio do fomento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio de bolsa PQ 311961/2023-1.

Referências

Ayar, M.; Dalkiran, A.; Kale, U.; Nagy, A.; Karakoc, T. H. A. (2023). Mecanismo de decisão de métodos de processamento de imagem para aplicações de vigilância com UAVs. *Engenharia de Aeronaves e Tecnologia Aeroespacial*, *95*(3), 389-400.

Bartlett, M. S. (1954). A note on the multiplying factors for various χ 2 approximations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), p. 296–298.

Bertrand, J. W. M., e Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations e Production Management*, *22*(2), 241–264.

CASNAV. (2024). *Centro de Análises de Sistemas Navais*. Carta de Serviços do CASNAV. https://www.marinha.mil.br/casnav/.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br

Checkland, P. (1981). Systems thinking, systems practice. [s.l.] John Wiley & Sons.

Costa, A. P. D. A.; Terra, A. V.; De Souza R. J. C.; De Araújo C. I. P.; Moreira, M. Â. L.; Dos Santos, M.; Da Silva, A. S. (2024a). Optimization of Obstructive Sleep Apnea Management: Novel Decision Support via Unsupervised Machine Learning. In *Informatics* (Vol. 11, No. 2, p. 22). MDPI.

Costa, I. P. D. A.; Costa, A. P. D. A.; Moreira, M. Â. L.; Castro Junior, M. A.; Pereira, D. A. D. M.; Gomes, C. F. S; Santos, M. D. (2024b). SAPEVO-PC: Integrating Multi-Criteria Decision-Making and Machine Learning to Evaluate Navy Ships. Journal of Marine Science and Engineering, 12(8), 1444.

Costa, A. P. D. A.; Gomes, C. F. S; Santos, M. D.; Goldschmidt, R. R. (2024c) Tutorial do Software para Aplicação do método CROWN: Apoio à Decisão Multicritério e Aprendizado de Máquina na Modelagem de Problemas Complexos. In XVIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão.

Creswell, J. W.; Creswell, J. D. (2017). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. [s.l.] Sage publications.

Da Silva, M. V.; Da Fonseca, A. C. P. (2023). O batismo de fogo dos drones de superfície. *Revista Passadiço*, *36*(43), 64-71.

De Moraes, C. C.; Da Silva, V. R.; Doneda, A. L. C.; Moreira, L. A. S.; Bretinger, A. R.; Stahlschmidt, J. (2022). Console de imagens táticas de realidade aumentada (CITRA). *Revista Passadiço*, *34*(42), 68-68.

Dugger, Z.; Halverson, G.; McCrory, B.; Claudio, D. (2022). Principal component analysis in MCDM: An exercise in pilot selection. *Expert Systems with Applications*, *188*, 115984.

Fávero, L. P.; Belfiore, P. (2017). Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. [s.l.] Elsevier Brasil.

Georgiou, I. (2015) “Unravelling soft systems methodology”, International Journal of Economics and Business Research, Inderscience Enterprises Ltd, vol. 9(4), pages 415-436.

Keshavarz-Ghorabaee, M.; Amiri, M.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.;Antucheviciene, J. (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC). *Symmetry*, *13*(4), 525.

Loureiro, G.; Dias, A.; Martins, A.; Almeida, J. (2021). Emergency landing spot detection algorithm for unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing*, *13*(10), 1930.

Marinha do Brasil. Estado-Maior da Armada. Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040). Brasília: EMA, 2022. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/ pub_pem_2040/book.html. Acesso em: 22nov2024.

Maroquio, B. R. (2020). Vigilância de Áreas Restritas Utilizando Uma Equipe Autônoma de ARPs Cooperativas.

Ruscio, J.; Roche, B. (2012) Determining the number of factors to retain in an exploratory factor analysis using comparison data of known factorial structure. Psychological assessment, v. 24, n. 2, p. 282.

Valavanis, K. P.; Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of unmanned aerial vehicles. [s.l.] Springer, v. 1.

Viscardi, M., Zeferino, A. C. S., Freitas, E. D. S., Passaro, A., & Bergiante, N. C. (2024). Decisão Estratégica e Complexidade: Aplicação da Soft Systems Methodology (SSM) na Aquisição de Aeronaves para a Força Aérea.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212547
https://proceedings.science/p/212547?lang=pt-br