

# ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE CONCEITO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) DE COMBATE

Douglas Estevam Casale<sup>1</sup>

Rafaela Campos da Silva<sup>2</sup>

Moacyr Machado Cardoso Júnior<sup>3</sup>

Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa<sup>4</sup>

## RESUMO

---

Embora o uso militar de VANTs tenha se expandido globalmente, o Brasil ainda não opera modelos de ataque, limitando-se a missões de monitoramento. Em um processo de desenvolvimento ou aquisição de VANT de ataque, uma das decisões importantes que devem ser tomadas é se as aeronaves serão reutilizáveis ou do tipo “munição vagante”. Contudo, a literatura apresenta uma lacuna na aplicação de métodos multicritério para a seleção de conceitos em projetos de VANTs militares. Assim, este estudo visa a demonstrar como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), um método sistematizado de apoio à análise de decisão, pode ser aplicado para selecionar qual conceito de VANT de ataque é mais adequado para o Brasil. Esse método, amplamente empregado para priorização de alternativas em projetos complexos, permite avaliar diferentes critérios e balancear as expectativas das partes interessadas. Foram considerados critérios definidos por especialistas, abrangendo

---

1 Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: casale.douglas@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-0220>.

2 Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: rafacampos123@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6887-0542>.

3 Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: moacyr@ita.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2801-0329>.

4 Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: luis.loures@gp.ita.br, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2486-0107>.

logística, operacionalidade e confiabilidade. Os resultados indicaram que o VANT reutilizável apresentava melhor desempenho geral, especialmente em termos de capacidade multimissão, economia de operação e tolerância a falhas. Concluiu-se que o AHP é uma ferramenta eficaz para auxiliar na priorização de estratégias de desenvolvimento de projetos, fortalecendo as bases para a futura implementação dessas aeronaves no Brasil.

**Palavras-chave:** Apoio Multicritério à Decisão, AHP, Veículo Aéreo Não Tripulado.

## INTRODUÇÃO

O vetor aéreo é essencial para prover mobilidade às Forças Armadas em espaços de batalha não lineares e geograficamente dispersos. Ele viabiliza aplicações em reconhecimento, inteligência, Comando e Controle, logística (Estado-Maior do Exército, 2014), Guerra Eletrônica (Força Aérea Brasileira, 2017), entre outras. Para um país de dimensões continentais como o Brasil, a gestão e a defesa de aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup> apresentam desafios significativos. Assim, a mobilidade aérea é crucial para garantir a pronta resposta e o poder de fogo necessários à defesa nacional.

No entanto, frente aos diferentes tipos de desafios à soberania e à segurança nacionais, incluindo invasões territoriais, tráfico de entorpecentes e crimes ambientais, não é possível à Força Aérea Brasileira, isoladamente, fazer face a essas ameaças. Isso exige a participação e apoio do Exército Brasileiro, que é a instituição de maior capilaridade em todo o território nacional (Casale; Silva & Loures da Costa, 2024), e da Marinha do Brasil, com sua projeção de poder naval e de segurança contra agentes estatais e não-estatais (De Almeida, 2024), inclusive na região amazônica (Pivatto Júnior, 2024). Desse modo, observa-se um potencial do uso de vetores aéreos para auxiliar os comandantes de forças terrestres e navais no desempenho de suas funções de patrulhamento e combate.

Historicamente, os helicópteros de ataque foram inicialmente desenvolvidos para escoltar assaltos aeromóveis, passando posteriormente a fornecer apoio aéreo aproximado com o uso de metralhadoras e foguetes, e mais tarde com mísseis antitanque guiados. Esses vetores adquiriram, ao longo do tempo, capacidade de operar à noite e sob condições meteorológicas adversas. No entanto, as tendências atuais têm se deslocado para plataformas mais leves, menores e de menor custo, em detrimento de veículos robustos projetados para ataques simultâneos contra múltiplos alvos blindados (Lake, 2018).

Os avanços tecnológicos e as recentes experiências em combate, observadas em diversos conflitos ao redor do mundo, demonstraram a eficácia, eficiência e potencial dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) na destruição de equipamentos inimigos, na obtenção de imagens sobre o posicionamento de forças e na neutralização de alvos humanos de alto valor (Reim, 2021; Yasbeck, 2017). Os VANTs apresentam vantagens em relação às aeronaves tripuladas, incluindo menores custos de aquisição,

operação e manutenção, redução do risco aos operadores durante as missões (Silveira, 2020), além de alinhamento com a tendência de se atribuir missões de combate a aeronaves mais leves, menores e acessíveis (Lake, 2018).

Nesse sentido, visando à otimização na utilização de recursos, e as restrições orçamentárias inerentes a todos os ramos do serviço público, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) despontam como uma alternativa efetiva e eficiente para prover às Forças Armadas os meios para o cumprimento de suas missões em proveito do Estado brasileiro.

Os VANTs têm recebido grande atenção recentemente na área de defesa devido a seu emprego bem-sucedido em combate, como foi observado nos conflitos de Nagorno-Karabakh e entre a Rússia e a Ucrânia. Dentre as possíveis aplicações para os VANTs, se destacam as missões de inteligência, vigilância, reconhecimento, identificação de alvos e ataque (Brasil, 2023).

Como se pode notar, a utilização de VANTs tem impactos em todas as expressões da defesa, uma vez que VANTs de ataque podem inclusive ser transportados e lançados de navios, atuando como ferramentas para os comandantes de força naval realizarem reconhecimento, proteção e ataque contra forças adversas. Considerando as características do ambiente amazônico, onde as extensas hidrovias exercem um papel predominante na integração nacional (Santos & Fontes, 2020), pode-se perceber a grande contribuição que os VANTs podem dar ao poder naval nessa região em especial.

No entanto, mesmo com o potencial de VANTs serem meios para auxiliar o Estado brasileiro a superar os grandes desafios envolvidos na defesa nacional e crimes transfronteiriços, as Forças Armadas brasileiras ainda não dispõem de um VANT de combate com capacidade de ataque. Atualmente, todos os sete diferentes modelos em operação no Brasil permitem cumprir apenas missões de monitoramento, sem a capacidade de engajar alvos (Santos & Stabile, 2025). Enquanto alguns países sul-americanos já possuem VANTs de combate plenamente operacionais (o que pode desafiar o papel do Brasil como potência regional), a primeira versão nacional com capacidade de lançamento de mísseis está prevista apenas para 2027. No entanto, considerando o histórico de atrasos em projetos de defesa e as recorrentes restrições orçamentárias, é plausível que esse prazo sofra novos adiamentos.

## 1.1 Desafios no desenvolvimento de VANTs

Projetos de VANTs enfrentam diversos desafios, como a miniaturização de componentes (Hehenberger et al., 2021), restrições de potência disponível e a busca por maior eficiência energética (Pan et al., 2019). Para lidar com essas dificuldades, a aplicação de modelos de Engenharia de Sistemas pode ser benéfica ao estruturar as atividades técnicas do desenvolvimento do projeto, como será apresentado na Referencial Teórico. Nas fases iniciais, quando o nível de abstração do projeto é elevado (geralmente abrangendo apenas versões preliminares dos requisitos das partes interessadas e do sistema), as equipes de desenvolvimento devem enfrentar não apenas desafios técnicos, mas também limitações de recursos (orçamento, tempo, pessoal), necessidades conflitantes entre as partes interessadas, políticas e regulamentações em constante evolução.

Diante dessas adversidades, ajustes nos requisitos do projeto (como adições, modificações ou exclusões) podem se tornar necessários para alinhar o desenvolvimento às necessidades atuais e garantir a entrega de um VANT funcional que atenda às expectativas das partes interessadas. A tomada de decisão nesse contexto é inerentemente complexa, exigindo análises extensas e compensações cuidadosas para considerar os efeitos em cascata sobre requisitos dependentes, além da necessidade de equilibrar interesses das partes interessadas, viabilidade técnica, restrições orçamentárias, contratos e impactos no cronograma. Cada decisão deve considerar cuidadosamente os potenciais efeitos colaterais sobre os requisitos e objetivos do projeto, bem como o risco de frustração das expectativas das partes interessadas, o que pode resultar em conflitos, desinteresse e resistência.

Em um processo de desenvolvimento ou aquisição de VANT com capacidade de ataque, uma das decisões importantes que devem ser tomadas é se as aeronaves serão reutilizáveis ou se serão do tipo “munição vagante” (*loitering munition*), que detonam contra os alvos e são inutilizadas no processo. Essa única decisão muda de maneira substancial a forma de emprego dos VANT (uma única aeronave reutilizável pode engajar múltiplos alvos e permanecer em missões de reconhecimento mesmo após haver disparado todos os seus mísseis), e tem impacto em vários pontos do projeto, tais como custo máximo viável por VANT (em

uma aeronave “descartável” em geral busca-se reduzir ainda mais os custos para produzir maior quantidade), projeto mecânico, tempo máximo de operação, entre outros.

Para selecionar a melhor alternativa entre VANT reutilizável ou VANT do tipo “munição vagante” para a defesa nacional, múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes, devem ser levados em consideração pelos *stakeholders*, como, por exemplo, custos de aquisição e de operação, manutenibilidade, capacidade de carga, transportabilidade e tolerância a falhas. Certamente, os VANTS reutilizáveis atenderão melhor a alguns critérios quando comparados aos VANTS vagantes e vice-versa. Portanto, os decisores terão que balancear as suas expectativas em busca de uma solução que possua o melhor equilíbrio frente aos objetivos almejados. Esse processo pode ser denominado de análise de trade-off ou solução de compromisso, que pode ser amparado por métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD).

Nesse sentido, um método que se mostra efetivo e tem sido utilizado para priorização de alternativas em um projeto ou mesmo a priorização de projetos diferentes é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (De Cavalho & Pessôa, 2012; Santos & Nagano, 2024). O método AHP pode ser empregado para apoiar a tomada de decisão em diferentes contextos organizacionais e em negociações que envolvam conflitos de interesses entre stakeholders (Infante, 2024). Por exemplo, pode auxiliar na definição da prioridade entre distintos projetos, na escolha do sistema mais adequado para aquisição ou, no âmbito de um projeto específico, na seleção do conceito ou solução de design a ser adotada.

No entanto, observa-se uma lacuna de trabalhos aplicando o AHP para auxiliar na seleção de conceitos e tomada de decisões em projetos de VANT militar, especialmente quando se considera projetos de VANTS de combate com capacidade de ataque.

Dada a relevância e complexidade da decisão em questão, aliada ao fato de que o Brasil ainda não dispõe de VANTS com capacidade de ataque, este estudo tem como objetivo demonstrar como o AHP, um método sistematizado de apoio à análise de decisão, pode ser aplicado para selecionar qual conceito de VANT de ataque (reutilizável ou do tipo “munição vagante”) é mais adequado para atender às necessidades do setor de defesa brasileiro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Engenharia de Sistemas é uma atividade transdisciplinar que integra as diversas especialidades e áreas do conhecimento durante o desenvolvimento de um produto (Sillitto et al., 2018). Uma vez que a Engenharia de Sistemas apresenta considerações relativas ao desempenho e custo ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, seus princípios são amplamente empregados para aquisições na área de Defesa que costumam envolver sistemas complexos e de alto custo de aquisição, além de, em geral, serem operados durante algumas décadas.

No Brasil, por exemplo, a FAB utiliza a Diretriz do Comando da Aeronáutica DCA 400-6 (Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica) (Brasil, 2007), que embora não mencione explicitamente o termo “Engenharia de Sistemas”, utiliza amplamente seus princípios e fases de ciclo de vida comumente encontrados na literatura e normas, como nos manuais de Engenharia de Sistemas do INCOSE, normas ISO de Engenharia de Sistemas e autores renomados na área (INCOSE, 2023; ISO/IEC/IEEE 29148, 2018; Kossiakoff et al., 2011). No exterior, por exemplo, Estados Unidos da América (país com o maior orçamento militar do mundo) possuem uma universidade voltada somente para aquisições em defesa, a *Defense Acquisition University* (DAU), cujos cursos contemplam os fundamentos do Manual de Engenharia de Sistemas do Departamento de Defesa estadunidense (equivalente ao Ministério da Defesa no Brasil) (DoD, 2022).

Embora os autores por vezes usem diferente nomes para as fases do ciclo de vida de sistemas (também chamados de produtos), pode-se notar similaridades entre esses modelos, como apresentado na Figura 1, que relaciona as fases nos modelos de Back et al. (2008), Rozenfeld et al. (2006), Kossiakoff et al. (2011), o manual de Engenharia de Sistemas do DoD (2022), e a ISO/IEC/IEEE 15288 (ISO/IEC/IEEE 15288, 2023).

**Figura 1.** Fases do ciclo de vida de sistemas para diferentes autores.

Determinação da necessidade de missão	Desenvolvimento de conceito			Desenvolvimento do sistema e demonstração		Produção e lançamento	Operações e suporte	
DoD 5000 (fases)	Desenvolvimento de conceito			Desenvolvimento do sistema e demonstração		Produção e lançamento	Operações e suporte	
ISSO/IEC 15288 (estágios)	Conceito			Desenvolvimento		Produção	Utilização e Suporte	
Back et al. (2008)	Projeto informacional	Projeto conceitual	Projeto preliminar	Preparação para produção	Lançamento	Validação		
Macrofases do Processo de Desenvolvimento de Produtos (Rozenfeld et al. (2006))	Desenvolvimento					Pós-desenvolvimento		
Fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos (Rozenfeld et al. (2006))	Projeto informacional	Projeto conceitual	Projeto detalhado	Preparação para produção	Lançamento do produto	Acompanhar produto	Descontinuar produto	
Estágios de engenharia de sistemas (Kossiakoff e Sweet (2011))	Desenvolvimento conceitual			Desenvolvimento de engenharia			Pós-desenvolvimento	
Fases de engenharia de sistemas (Kossiakoff e Sweet (2011))	Análise da necessidade	Exploração do conceito	Definição do conceito	Desenvolvimento avançado	Design de engenharia	Integração e avaliação	Produção	Operação e suporte

Usando como referência o trabalho de Kossiakoff et al. (2011), observamos que os autores dividem o ciclo de vida em 3 (três) grandes estágios:

- **Desenvolvimento conceitual**, que visa ao estabelecimento da necessidade, a exploração de possíveis conceitos de sistemas, a validação de requisitos de desempenho, e a seleção do conceito mais apropriado para o sistema.

- **Desenvolvimento de engenharia**, para validar tecnologias necessárias ao projeto, e realizar as atividades de engenharia que deixem o sistema pronto para testes e produção.

- **Pós-desenvolvimento**, compreendendo o acompanhamento e atualização do sistema, seu suporte ao longo do restante do ciclo de vida e descarte de acordo com as normas e legislação aplicáveis, respeitando o meio ambiente.

Durante o desenvolvimento conceitual, particularmente na seleção do conceito, definem-se algumas características de sua futura arquitetura, como por exemplo as órbitas e altitudes para satélites (Larson et al., 2009) e tipo de carroceria (sedã, perua, caminhonete etc.) para veículos, em função

das necessidades e requisitos das partes interessadas. Nesse momento surgem muitas decisões críticas para o projeto, muitas vezes envolvendo objetivos conflitantes entre si, como desempenho, custo, confiabilidade, escalabilidade ou facilidade de manutenção.

Objetivamente, os sistemas são desenvolvidos para criar valor para as partes interessadas (também chamadas de *stakeholders*), visando a atender aos seus objetivos. Nesse sentido, em diversas etapas, ao longo do desenvolvimento de sistemas, os times de desenvolvimento lidam com decisões conflitantes. Por exemplo, durante o projeto de um carro: aumentar o porta-malas, ou dar mais espaço para os passageiros no banco traseiro? Aumentar as rodas e prejudicar o consumo de combustível, ou manter rodas de aro menor e tornar o carro esteticamente menos atrativo para os consumidores? Como os recursos são limitados, para atingir um objetivo, comumente é necessário fazer concessões em outros objetivos.

O processo que auxilia na determinação do melhor equilíbrio entre esses objetivos é conhecido como análise de *trade-off* ou solução de compromisso (Cilli & Parnell, 2014; Parnell et al., 2021). Sinteticamente, essas análises refletem os esforços para se resolver o dilema dos objetivos conflitantes, que impedem a existência da solução ótima e conduzem à busca da solução de melhor compromisso (Zeleny, 2014).

As análises de *trade-off* podem desempenhar um papel central no gerenciamento de decisões ao longo de todo o ciclo de vida dos sistemas, apoiando, por exemplo, decisões relativas ao conceito; requisitos; arquiteturas; subsistemas; componentes; métodos de teste e avaliação; processos de produção; abordagens de operação, manutenção e descarte; dentre outras (Parnell; Cilli & Buede, 2014). Uma análise de *trade-off*, ao balancear as características de um sistema, por exemplo, pode implicar na queda de desempenho de alguns subsistemas individualmente, de algumas características ou funções específicas ou em certas condições de operação em prol de aumentar o desempenho do sistema como um todo, a atender a requisitos específicos ou mais importantes ou, mesmo, viabilizar financeiramente o projeto.

Nas situações em que sejam identificados, pelo menos, dois critérios conflitantes e duas alternativas de decisão, as análises de *trade-off* podem ser amparadas pelos métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Esses métodos combinam suposições qualitativas e dados quantitativos com técnicas de modelagem matemática, possibilitando a sistematização de problemas complexos, com múltiplos critérios ou

objetivos, e auxiliando os decisores na avaliação e escolha das alternativas que melhor possam solucionar o problema em questão (Saaty, 1987; Santin et al., 2023).

As teorias de decisão multicritério abarcam numerosos métodos e modelos, como: PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), WLC (*Weighted Linear Combination*), OWA (*Ordered Weighted Averaging*), ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), ANP (*Analytic Network*) e o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (Greco; Ehrgott & Figueira, 2016).

Dentre os métodos de AMD existentes, destaca-se o AHP, que é considerado uma das ferramentas de apoio ao processo decisório mais conhecidas e difundidas, com o maior número de aplicações práticas reportadas na literatura para a solução de diversos problemas (planejamento, priorização, alocação de recursos, resolução de conflitos, análises preditivas etc.) em variadas áreas (engenharia, indústria, educação, saúde, agrícola, governo etc.) (Saaty & Vargas, 2012; Tortorella & Fogliatto, 2008). No contexto militar, em especial, podem ser encontradas muitas publicações relatando a aplicação do AHP e suas variações, como, por exemplo:

- Widyaksa et al. (2024) utilizaram Delphi, AHP e TOPSIS para analisar o progresso da iniciativa dissuasória da marinha indonésia na região do Mar da Natuna do Norte.

- Silva; Belderrain; Pantoja (2010) utilizaram o método AHP com ratings para a priorização de projetos de P&D no Setor Aeroespacial, incluindo projetos de emprego dual (civil e militar).

- Wu et al. (2024) usaram AHP para criar um software de detecção e defesa contra VANTs.

- Souza et al. (2022) empregaram os métodos VFT, AHP e CODAS para apoiar a escolha de um sistema espacial para um programa estratégico nacional.

O AHP é fundamentado no conceito de hierarquia, em que um problema multicritério é decomposto em uma estrutura hierárquica, iniciando pelo objetivo global, critérios, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos. Os critérios são os fatores relevantes para a tomada de

decisão, enquanto as alternativas são as opções a serem analisadas. Em cada nível da hierarquia, os componentes são comparados par a par entre si, com base na escala fundamental de Saaty, valendo-se do julgamento de especialistas. Por meio do método, é realizado o tratamento matemático das avaliações para que seja possível derivar os pesos relativos de cada componente da hierarquia, obtendo-se, por fim, um valor numérico ponderado total para cada alternativa analisada, o que permite, então, selecionar a melhor alternativa para o problema em questão (Saaty, 2008).

Apesar de muitas vantagens, o AHP também apresenta limitações que devem ser consideradas. Uma das mais controversas é a crítica ao modelo matemático proposto pelo método para o cálculo do vetor de prioridades, que pode implicar em distorções na quantificação das prioridades (Costa, 2001). Outra questão relevante é que, quando o número de critérios e alternativas é muito grande, são necessárias muitas comparações par a par e, assim, o trabalho dos decisores pode ser complexo e exaustivo, além de a manutenção das consistências dos julgamentos tornar-se mais difícil (Saaty, 1990).

Ainda assim, verifica-se que o AHP tem potencialidade de aplicação para projetos na área militar, e que tal método ainda não foi aplicado para auxiliar na seleção de conceito de VANT de combate para as Forças Armadas no Brasil.

### 3 MÉTODO

Buscando flexibilidade e facilidade de uso, selecionou-se o método AHP para apoiar a análise de **trade-off** que será realizada para o problema de decisão deste trabalho. A seguir serão apresentadas as etapas envolvidas para aplicação do método, adaptadas do trabalho de Saaty (1990).

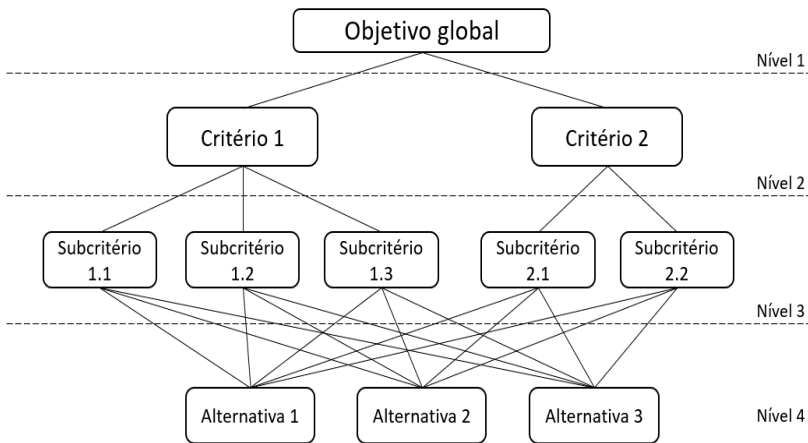
#### 3.1 Etapa 1 – Estruturação do problema de decisão

O presente método propõe iniciar as atividades construindo a estrutura hierárquica do problema de decisão, ilustrada no modelo genérico da Figura 2. Para tal, os especialistas devem identificar o objetivo global de decisão a ser tratado e as alternativas (possibilidades de decisão) a serem analisadas. O objetivo deve ser decomposto em critérios, que são os quesitos adotados para a avaliação das alternativas. Esses critérios podem ser desdobrados em múltiplas camadas de subcritérios, a depender

da complexidade e do problema.

De acordo com Saaty e Vargas (2012), diversos autores observaram que critérios com um elevado número de subcritérios tendem a receber mais peso do que quando são menos detalhados. Assim, recomenda-se que a quantidade de subcritérios para cada critério não apresente variações muito expressivas, quando possível. Ressalta-se que esta etapa representa significativa importância para o processo, pois uma estrutura diferente pode levar a uma classificação final diferente.

**Figura 2.** Estrutura hierárquica do método AHP (adaptado de Saaty (1987)).



### 3.2 Etapa 2 – Realização das comparações par a par

Para a consecução desta etapa, os elementos de um mesmo nível hierárquico devem ser comparados par a par, à luz do elemento imediatamente superior relacionado a ele. Tomando como base a estrutura hierárquica da Figura 2, por exemplo, os especialistas devem comparar, inicialmente, os critérios 1 e 2, baseando-se na escala da Tabela 1, quanto à sua importância para a consecução do objetivo global. Em seguida, os subcritérios 1.1, 1.2 e 1.3 devem ser comparados par a par, à luz do critério 1, e assim por diante.

**Tabela 1.** Escala numérica e verbal adaptada da escala fundamental de Saaty para comparação

Valor	Avaliação verbal
1	Os elementos comparados são igualmente importantes/preferidos
3	Importância/preferência moderada de um elemento sobre o outro
5	Importância/preferência forte de um elemento sobre o outro
7	Importância/preferência muito forte de um sobre o outro
9	Importância/preferência extrema de um elemento sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os julgamentos adjacentes

Preferencialmente, os números ímpares da escala devem ser utilizados nas avaliações, de modo a assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. Porém, quando houver necessidade de negociação entre os avaliadores e não for possível obter um consenso, pode-se utilizar os valores pares (intermediários), que representam uma solução de compromisso negociada (Saaty, 1987).

Após os julgamentos dos critérios e subcritérios, as alternativas (nível 4) também devem ser confrontadas, duas a duas, indicando o grau de preferência de uma em relação a outra para cada um dos subcritérios do nível 3.

### 3.3 Etapa 3 – Determinação dos pesos locais dos atributos

Esta etapa compreende o processo matemático que deve ser realizado para determinar os pesos dos atributos analisados (critérios, subcritérios e alternativas).

Inicialmente, é necessário construir as matrizes de julgamentos, a partir dos resultados das comparações par a par realizadas na Etapa 2. A equação (1) representa uma matriz de julgamento  $A$  (quadrada, positiva e recíproca), relativa à comparação par a par de  $n$  atributos, em que os pesos são  $w_1, w_2, \dots, w_n$  e  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  (Saaty, 1990):


$$A = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Para encontrar os pesos de cada atributo, é preciso solucionar a equação (2), que é equivalente à sua forma matricial apresentada na equação (3). O cálculo exato desses pesos pode ser obtido por meio de alguns métodos matemáticos, como o método dos mínimos quadrados, o método dos mínimos quadrados logarítmico e o método do autovetor. Porém, alguns autores afirmam que o método do autovetor parece ser o único a tratar corretamente matrizes que não sejam consistentes (Gomes, 2009).

$$(A - \lambda I)w = 0 \tag{2}$$

ou

$$\begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ A_1 & \left[ \begin{matrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \end{matrix} \right] \\ A_2 & \left[ \begin{matrix} w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \end{matrix} \right] \\ \vdots & \left[ \begin{matrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \right] \\ A_n & \left[ \begin{matrix} w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{matrix} \right] \end{matrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = nw \tag{3}$$

Considerando que as matrizes sejam *quase* consistentes, de acordo com o método do autovetor, os pesos podem ser determinados por meio do cálculo do autovetor principal de  $A$  ( $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ) associado ao autovalor máximo ( correspondente, que satisfaça a equação (4) (Saaty, 1990);

$$Aw = \lambda_{max} w \tag{4}$$

Visando a mensurar o quão consistente são os julgamentos efetuados pelos decisores, (Saaty, 1987) propõe o cálculo do índice de consistência ( $IC$ ) (5) e da razão de consistência ( $RC$ ) (6), sendo  $RI$  o índice de consistência aleatório tabelado em função da ordem da matriz:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{5}$$

$$RC = \frac{IC}{RI} \tag{6}$$

Caso a razão de consistência (RC) seja menor ou igual a 10%, a matriz é considerada suficientemente consistente e os pesos relativos estimados são aceitos. Caso contrário, as comparações devem ser revistas pelos decisores para melhorar a consistência e recalculá-los os pesos.

Assim, a partir do cálculo dos autovetores principais normalizados de todas as matrizes, obtém-se o peso médio local de cada critério  $i$  ( $PML_i^C$ ), de cada subcritério  $j$  ( $PML_{ij}^{SC}$ ) relacionado a cada critério  $i$  e de cada alternativa  $k$  relacionada a cada subcritério  $j$  ( $PML_{k,j}^A$ ) (Meier & Mori, 2021).

### 3.4 Etapa 4 – Agregação dos pesos e decisão final

Por fim, os pesos dos vários níveis hierárquicos devem ser agregados para definir a classificação das alternativas.

Para se obter os pesos globais dos subcritérios ( $PG_{i,j}^{SC}$ ) (nível 3), deve-se multiplicar a prioridade média local de cada subcritério  $j$  (nível 3) pela prioridade média local de cada critério  $i$  (nível 2) correspondente, conforme a equação (7), em que  $n$  é o número de critérios e  $m$  é o número de subcritérios definidos para o critério  $i$  (Meier & Mori, 2021):

$$PG_{i,j}^{SC} PML_{i,j}^{SC} * PML_i^C \quad (7)$$

Para calcular os pesos globais das alternativas ( $PG_{k,j}^A$ ), deve-se, para cada alternativa  $k$ , conforme equação 7, multiplicar o seu peso médio local ( $PML_{k,j}^A$ ) pelo peso global do subcritério  $j$  correspondente ( $PG_{i,j}^{SC}$ ), de acordo com a equação (8), sendo  $l$  no número de alternativas consideradas:

$$PG_{k,j}^A PML_{k,j}^A * PML_{i,j}^{SC} \quad (8)$$

Os pesos globais de cada alternativa devem ser somados, a fim de se obter o peso total de cada alternativa ( $PT_k^A$ ) (equação 9).

$$PT_k^A = \sum_{j=1}^m PG_{k,j}^A \quad (9)$$

A alternativa com o maior valor de peso total deve ser indicada como a melhor decisão para o problema, de acordo com os critérios e julgamentos dos especialistas, a partir da aplicação do método AHP.

Adicionalmente, recomenda-se realizar uma análise de sensibilidade individual dos critérios com o objetivo de verificar a estabilidade da decisão frente a possíveis variações nos pesos atribuídos. Para isso, deve-se simular a variação sistemática do peso de cada critério principal individualmente, em intervalos crescentes de 0% a 100% da soma total, com redistribuição proporcional dos pesos remanescentes entre os demais critérios.

A cada iteração, devem ser recalculadas as pontuações agregadas das alternativas com base nos novos pesos simulados. O cruzamento das curvas de desempenho indica os pontos críticos de inversão de preferência, permitindo identificar limiares de instabilidade decisória. A presença de ampla faixa de variação em que a alternativa preferida se mantém superior é interpretada como evidência de robustez da decisão. Recomenda-se que os resultados sejam representados graficamente para facilitar a interpretação visual e destacar o comportamento de cada critério de forma isolada.

## 4 ESTUDO DE CASO

Nos tópicos seguintes serão apresentados os resultados alcançados a partir da aplicação do método para o problema de decisão relacionado à configuração do VANT de ataque.

### 4.1 Etapa 1 – Estruturação do problema de decisão

Inicialmente, constituiu-se um grupo formado por militares especialistas em aviação da Marinha do Brasil (MB), do Exército Brasileiro (EB), da Força Aérea Brasileira (FAB), com ampla experiência e qualificação

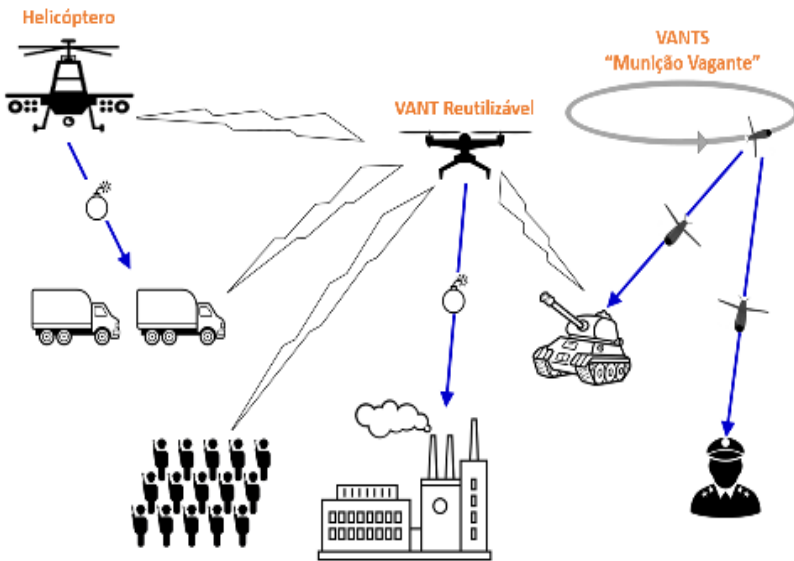
na área, para participar de todo o processo e viabilizar o emprego do método. Com o intuito de construir a estrutura hierárquica do problema de decisão, o grupo definiu que o objetivo global do estudo é determinar a melhor configuração para um VANT de ataque para as Forças Armadas brasileiras, considerando duas alternativas a serem avaliadas: **VANTs reutilizáveis**; e **VANTs do tipo “munição vagante”** (*loitering munition*), que detonam contra os alvos, sendo destruídos no processo.

Os VANTs representam uma prioridade estratégica para as Forças Armadas na atualidade. A análise e a seleção entre diferentes configurações dependem do grau de atendimento a critérios previamente estabelecidos. Nesse contexto, os resultados da presente aplicação podem subsidiar a alocação inicial de recursos, priorizando a alternativa com maior potencial para atingir a plena capacidade operacional. A partir dessa priorização, recursos adicionais poderão ser direcionados a outras configurações que complementem as capacidades demandadas pelas Forças Armadas.

A partir do Conceito de Operações (ConOps) representado na Figura 3, pôde-se observar como é esperada a atuação de VANTs operando integrados aos helicópteros já em uso pelo Brasil, permitindo melhor compreender o emprego das aeronaves. No ConOps, o VANT reutilizável está trafegando informações para um helicóptero tripulado realizar um ataque a comboio. O VANT reutilizável também monitora tropas oponentes, veículos blindados e instalações fabris militares. Um grupo de VANTs do tipo munição vagante realiza um circuito de voo à procura de alvos. Ao encontrar algum alvo compensador (nesse exemplo, veículos blindados e chefes militares) os VANTS se dirigem contra os alvos.

O ConOps apresenta possíveis aplicações para ambos os tipos de VANTs, proporcionando uma visão abrangente de suas potencialidades e subsidiando a definição de prioridades na alocação inicial de recursos pelo Brasil entre sistemas reutilizáveis e “munições vagantes”. Dado que essas duas categorias de VANTs oferecem vantagens operacionais distintas e complementares, a priorização não implica exclusão, mas busca identificar qual delas poderá contribuir de forma mais imediata para o incremento da capacidade de defesa nacional. Dessa forma, o desenvolvimento do sistema classificado como segunda prioridade poderá ser viabilizado em uma fase subsequente, conforme a disponibilidade de recursos adicionais.

**Figura 3.** Conceito de Operações com VANTs operando em conjunto com aeronaves de asa rotativa.



Os critérios e subcritérios foram definidos com base em características desejáveis ou próprias de sistemas similares, identificadas em uma análise comparativa de mercado (*benchmarking*) realizada pelo grupo de trabalho previamente. Os critérios elencados foram: **logística**, operacionalidade e confiabilidade.

O critério logística foi decomposto nos subcritérios:

- **Manutenibilidade:** facilidade e viabilidade de se fazer manutenção e inspecionar o VANT, mesmo que em embarcações;

- **Nacionalização de componentes:** nível de independência em relação a fornecedores estrangeiros, para reduzir riscos de desabastecimento ou embargo a componentes críticos que implique em indisponibilidade do sistema ou necessidade de alteração do projeto;

- **Escalabilidade:** nível de replicabilidade e facilidade de fabricação em série das aeronaves;

- **Economia de aquisição:** aumenta quanto menor for o preço por unidade de aeronave;

- **Economia de operação:** favorece soluções com menor valor por hora de voo e logística, além de menor custo de reposição (no caso de aeronaves que tem de ser substituídas a cada missão).

Para o critério **operacionalidade** foram identificados subcritérios:

- **Capacidade de carga:** quantidade de carga útil que pode ser transportada pela aeronave;

- **Transportabilidade:** facilidade e a viabilidade com que se pode deslocar o material no terreno e acompanhar as operações, levando a aeronave para pontos mais próximos do teatro de operações;

- **Capacidade multimissão:** realizar um amplo espectro de diferentes missões, desempenhando funções como reconhecimento, vigilância e ataque, com versatilidade de emprego, podendo ser lançado a partir de embarcações (ainda que com auxílio de pequenas plataformas de lançamento);

- **Capacidade de atingir múltiplos alvos:** permite a uma única aeronave realizar ataques contra diferentes alvos em uma mesma missão de combate;

- **Capacidade de navegação sem GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite):** alternativas à navegação satelital para realizar a navegação, de modo a reduzir o risco de perda de missão em virtude do clima e de ações de Guerra Eletrônica.

O critério confiabilidade foi desdobrado nos subcritérios:

- **Tolerância a falhas:** ligada à capacidade de o sistema continuar operando e a aeronave continuar voando e cumprindo suas missões (ainda que de modo degradado), mesmo que um de seus sistemas ou componentes venha a falhar;

- **Facilidade de implementação de modo de segurança:** representa a facilidade e a viabilidade com que se pode implementar um modo de segurança no VANT, para evitar danos indesejados e captura da aeronave por forças oponentes;

- **Seção Reta Radar (SRR):** quanto menor a SRR, menores a assinatura espectral de um objeto quando iluminado por um radar e menor sua probabilidade de ser detectado.

Em relação ao subcritério **tolerância a falhas**, destaca-se que está relacionado à robustez do sistema, não somente a falhas ocasionais de componentes, mas também a falhas causadas por interferência inimiga (disparos ou interferência eletrônica). No que se refere à implementação, a redundância é uma forma de se aumentar a tolerância. Evidentemente há um limite para essa tolerância, e, dependendo da intensidade dos danos sofridos por interferência inimiga, o sistema pode ser perdido.

O objetivo, os critérios, os subcritérios e as alternativas de decisão definidos neste trabalho encontram-se sintetizados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Estrutura hierárquica do problema de decisão.

**Tabela 2.** Estrutura hierárquica do problema de decisão.

Objetivo	Critério	Subcritério	Alternativas
Determinação da melhor configuração para um VANT de ataque	Logística	Manutenibilidade	A) VANTs reutilizáveis  B) VANTs do tipo “munição vagante”
		Nacionalização de componentes	
		Escalabilidade	
		Economia de aquisição	
		Economia de operação	
	Operacionalidade	Capacidade de carga	
		Transportabilidade	
		Capacidade multimissão	
		Capacidade para atingir múltiplos alvos	
		Capacidade de navegação sem GNSS	
	Confiabilidade	Tolerância a falhas	
		Facilidade de implantação de modo de segurança	
		Seção Reta Radar (SRR)	

**4.2 Etapa 2 – Realização das comparações par a par**

As comparações par a par foram realizadas em grupo, por meio de discussões e negociações entre os envolvidos, até se chegar ao consenso de um valor único para cada comparação que refletisse o julgamento do grupo de decisores, como uma unidade, a partir da escala da Tabela 1.

Ao longo desse processo, pôde-se perceber que, para o contexto desta aplicação, a adoção da estratégia de avaliação por consenso, por meio de discussões abertas, trouxe benefícios significativos.

Como um grupo agrega mais conhecimento em comparação a qualquer um de seus membros isoladamente, aumentam-se as chances de se chegar a avaliações mais precisas, claras e transparentes. Além disso, é possível, em tempo real, uniformizar os entendimentos dos conceitos, premissas e justificativas relacionados a cada decisão, sanar dúvidas e nivelar o conhecimento do grupo, a partir das informações, experiências e perspectivas compartilhadas por cada participante.

### 4.3 Etapa 3 – Determinação dos pesos locais dos atributos

Visando a simplificar o processo de cálculo do autovetor de pesos  $w$ , foi realizada uma aproximação, normalizando os elementos de cada coluna da matriz de julgamentos  $A$  e calculando a média aritmética de cada linha (Saaty & Vargas, 2012). De acordo com Kostlan (1991), a diferença entre o valor real e o valor aproximado calculado por esse método é inferior a 10%, o que justifica tal simplificação.

Os resultados dos pesos calculados para cada atributo, bem como as razões de consistência obtidas, encontram-se disponíveis na Tabela 3. Observa-se que a RC foi menor do que 10% para todos os casos, o que indica que todas as matrizes de julgamento foram suficientemente consistentes.

### 4.4 Etapa 4 – Agregação dos pesos e decisão final

Nesta etapa, todos os resultados foram agregados, conforme apresentado na Tabela 3, obtendo-se os pesos globais dos subcritérios e das alternativas. A partir desses parâmetros, foi calculado o peso total de cada alternativa, sendo a alternativa **VANT reutilizável** a que obteve a maior pontuação, considerando os critérios e julgamentos dos especialistas envolvidos no processo.

Tabela 3. Resultado da ponderação dos atributos avaliados.

Critérios	$PML_i^C$	RC	Subcritérios	$PML_{ij}^{SC}$	RC	Alternativa 1: VANT "munição vagante"			Alternativa 2: VANT reutilizável	
						$PG_{ij}^{SC}$	$PML_{1j}^A$	$PG_{1j}^A$	$PML_{2j}^A$	$PG_{2j}^A$
Logística	33,38%		Manutenibilidade	7,94%	5,97%	2,65%	75,00%	1,99%	25,00%	0,66%
			Nacionalização de componentes	31,52%		10,52%	83,33%	8,77%	16,67%	1,75%
			Escalabilidade	15,58%		5,20%	83,33%	4,33%	16,67%	0,87%
			Economia de aquisição	9,97%		3,33%	87,50%	2,91%	12,50%	0,42%
			Economia de operação	35,00%		11,68%	12,50%	1,46%	87,50%	10,22%
Operacionalidade	52,47%	5,64%	Capacidade de carga	18,38%	7,31%	9,64%	16,67%	1,61%	83,33%	8,03%
			Transportabilidade	5,02%		2,63%	80,00%	2,11%	20,00%	0,53%
			Capacidade multimissão	32,99%		17,31%	16,67%	2,88%	83,33%	14,42%
			Capacidade para atingir múltiplos alvos	32,99%		17,31%	10,00%	1,73%	90,00%	15,58%
			Capacidade de navegação sem GNSS	10,63%		5,58%	33,33%	1,86%	66,67%	3,72%
Confiabilidade	14,16%		Tolerância a falhas	14,29%	0,00%	2,02%	25,00%	0,51%	75,00%	1,52%
			Facilidade de implantação de modo de segurança	42,86%		6,07%	25,00%	1,52%	75,00%	4,55%
			Seção Reta Radar (SRR)	42,86%		6,07%	87,50%	5,31%	12,50%	0,76%
			SOMA	100,00%		100,00%	$PT_1^1$	36,98%	$PT_2^1$	63,02%

Com relação aos critérios, houve priorização da **operacionalidade** sobre os demais, seguido pela logística. Na visão do grupo de trabalho, embora fatores como a suportabilidade e a segurança do sistema sejam importantes, é primordial que o VANT cumpra as missões para as quais será projetado, o que resulta em maior peso para subcritérios como **capacidade multimissão** e **capacidade de atingir múltiplos alvos**. Outros subcritérios que também tiveram importância elevada foram a **economia de operação** (uma vez que o custo de operação ao longo do ciclo de vida de um sistema pode superar em 4 vezes seu custo de aquisição) e a **nacionalização de componentes** que além de ajudar a evitar restrições e embargos que possam afetar a disponibilidade do sistema, é também um fator que contribui para a Base Industrial de Defesa (Ribeiro & Assis, 2024).

Na comparação entre cada alternativa, verificou-se que, embora os VANTs do tipo munição vagante sejam, em geral, de fabricação e **aquisição** mais simples e baratas (pois podem ser usados componentes de menor custo e mais fáceis de se fabricar nacionalmente, visto que são aeronaves que precisam voar apenas uma vez e não necessitam de um projeto pensado tanto em sua manutenção, modularidade e pouso ou recuperação após a missão, facilitando, inclusive, sua **escalabilidade** em certos aspectos), as mesmas são perdidas após cada ataque realizado,

devendo ser repostas para manter a capacidade operacional do *stakeholder*. Dessa forma, sua **economia de operação** é reduzida, pois é prejudicada pelo custo de aquisição de uma nova aeronave a cada missão.

Sob certos aspectos, a **manutenibilidade** da munição vagante pode ser considerada melhor que a do VANT reutilizável, pois, apesar de demandar maior cuidado na armazenagem e em eventuais inspeções periódicas quando estocado por certo tempo (em virtude da presença de explosivo em seu interior), sua característica de ser praticamente descartável simplifica diversas atividades e sua suportabilidade. A preocupação com manutenibilidade pode ser aumentada caso os VANTs estejam embarcados em missões de patrulhamento fluvial na região amazônica, onde as condições climáticas adversas (em especial temperatura e umidade) podem contribuir para degradar os componentes das aeronaves.

Quanto ao subcritério **capacidade para atingir múltiplos alvos**, o VANT reutilizável tem vantagem absoluta, pois podem ser armadas com múltiplos mísseis para cada missão e uma única aeronave é capaz de atingir, por exemplo dois pelotões inteiros de carros de combate (oito carros), enquanto cada munição vagante atinge apenas um alvo. O projeto mais robusto do VANT reutilizável ainda permite maiores capacidade de carga e variação de cargas úteis transportadas para diferentes configurações de missão, favorecendo a **capacidade multimissão**, embora isso possa prejudicar a **transportabilidade** do VANT reutilizável armado, que (com sua munição) acaba em geral sendo mais pesado e de maiores dimensões que a munição vagante.

Por fim, para os subcritérios ligados à confiabilidade, tem-se que a Seção Reta Radar (**SRR**) da munição vagante tende a ser menor que a do VANT reutilizável, pois não há necessidade de a munição vagante transportar mísseis sob as asas ou externamente, de modo que sua assinatura radar é reduzida. A **implementação do modo de segurança** pode ser mais fácil em VANT reutilizável pois sua maior flexibilidade para carregar cargas úteis variadas pode ser usada para se transportar equipamentos de auxílio ao voo e navegação, reduzindo a dependência ao sistema de posicionamento baseado em satélites.

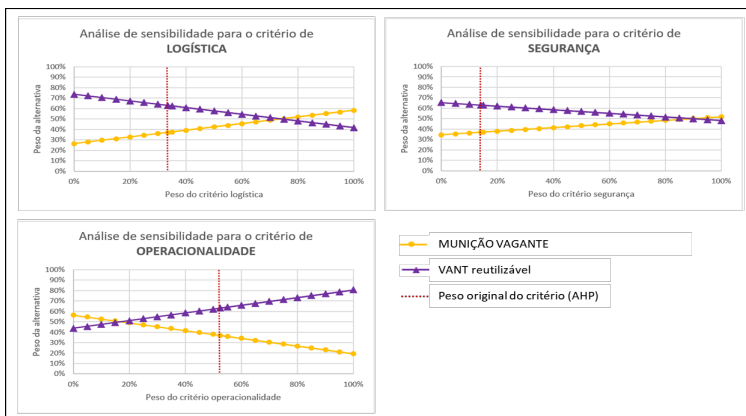
Em relação à **tolerância a falhas**, verificou-se que as diferentes alternativas apresentam vantagens a depender do tipo de cenário considerado. Embora a munição vagante, por ser de voo único, tenha menos horas de voo e degradação do material, por outro lado pode utilizar componentes de mais baixo custo cujas taxas de falhas sejam maiores.

Entretanto, na hipótese de efetiva ocorrência de uma falha em voo, o VANT reutilizável tem mais possibilidades de dispor de redundância ou outras formas de mitigação dos efeitos de falhas, de modo que apresenta uma vantagem nesse subcritério.

Por fim, foi conduzida uma análise de sensibilidade com o objetivo de avaliar a consistência e a estabilidade da escolha pelo VANT reutilizável frente a variações nos pesos dos critérios decisórios. Para isso, simularam-se alterações sistemáticas nos pesos de cada critério individual, variando-os de 0% a 100% do peso total, enquanto os demais eram ajustados proporcionalmente para manter a soma dos pesos em 100%. Os resultados, apresentados nos gráficos da Figura 4, demonstram que as curvas de pontuação das alternativas só se cruzam em cenários extremos, nos quais um único critério recebe peso desproporcional. Este comportamento indica que a decisão é robusta sob condições realistas, mesmo diante de incertezas nos julgamentos.

A alternativa SARP reutilizável permaneceu consistentemente preferida na maioria das simulações. Para que houvesse uma inversão de preferência em favor da munição vagante, seria necessário que: (i) o critério Logística recebesse mais de 75% do peso total (valor atribuído originalmente foi 33%); (ii) o peso da Operacionalidade fosse reduzido para menos de 15% (valor original: 52%); ou (iii) o critério confiabilidade ultrapassasse 90% de peso (valor atribuído: 14%). Tais configurações extremas são pouco prováveis no contexto operacional analisado, reforçando a robustez e a confiabilidade da alternativa selecionada.

**Figura 4.** Análise de sensibilidade por critério.



## 5 CONCLUSÃO

O método AHP possibilitou uma análise estruturada e sistemática do problema, a partir da construção e análise de uma hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas. As comparações par a par permitiram que os decisores pudessem, conjuntamente, debater e analisar minuciosamente cada julgamento e suas consequências, aumentando a clareza, transparência e credibilidade da avaliação e reduzindo os riscos e o grau de subjetividade do processo. Por meio da escala de Saaty, foi possível expressar numericamente esses julgamentos qualitativos dos decisores, que foram processados matematicamente para derivar os graus de importância de cada atributo e indicar a solução mais equilibrada para o problema em questão.

Assim, pode-se afirmar que a aplicação de um método estruturado de Apoio Multicritério à Decisão ampliou a possibilidade de acerto na escolha do VANT reutilizável como solução de melhor compromisso para o problema determinado, em virtude, essencialmente, de sua pontuação referente ao critério **operacionalidade**, embora auferido pontuação inferior nos critérios **logística** e **confiabilidade** em relação à alternativa do tipo “munição vagante”.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

# Multicriteria Approach for Combat Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Concept Selection

## ABSTRACT

Although the military use of UAVs has expanded worldwide, Brazil has yet to operate armed UAV models, currently restricting their use to surveillance missions. In the context of developing or acquiring attack UAVs, a critical decision involves determining whether the aircraft should be reusable or designed as loitering munitions. Although, the literature reveals a gap in the application of multicriteria decision-making methods for concept selection in military UAV design. In this regard, the present study aims to demonstrate how the Analytic Hierarchy Process (AHP), a systematic decision support method, can be employed to select the most suitable attack UAV concept to meet Brazilian operational needs. Widely used for prioritizing alternatives in complex projects, AHP enables the evaluation of multiple criteria while balancing stakeholder expectations. The method was applied using a hierarchy of criteria defined by subject matter experts, encompassing logistical, operational, and reliability dimensions. The results indicate that the reusable UAV outperformed the loitering munition option overall, particularly in terms of multi-mission capability, operational cost, and fault tolerance. It is concluded that AHP is an effective tool to support the prioritization of development strategies, strengthening the foundation for the future implementation of armed UAVs in Brazil.

**Keywords:** Multi-Criteria Decision Support, Analytic Hierarchy Process, Unmanned Aerial Vehicle.

## REFERÊNCIAS

BACK, Nelson *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri: Manole, 2008.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Diretriz do Comando da Aeronáutica (DCA) 400-6: ciclo de vida de sistemas e materiais da Aeronáutica.** Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro.** 2023.

CASALE, Douglas Estevam; SILVA, Rafaela Campos da; LAHOZ, Carlos Henrique Netto; LOURES DA COSTA, Luís Eduardo Vergueiro. Requisitos para um sistema de aeronave remotamente pilotada de ataque. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica**, São José dos Campos, 4 out. 2024. Disponível em: [https://www.sige.ita.br/edicoes-antiores/2024/st/243122\\_1.pdf?x45065](https://www.sige.ita.br/edicoes-antiores/2024/st/243122_1.pdf?x45065). Acesso em: 25 set. 2025.

CILLI, Matthew V.; PARNELL, Gregory S. Systems engineering tradeoff study process framework. **INCOSE International Symposium**, v. 24, n. 1, p. 313–331, 31 jul. 2014.

COSTA, Carlos A. Bana. The use of multi-criteria decision analysis to support the search for less conflicting policy options in a multi-actor context: case study. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 10, n. 2, p. 111–125, mar. 2001.

DE ALMEIDA, Carlos Wellington Leite. Os estudos de segurança internacional na segurança marítima. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 30, n. 2, p. 219–283, 2024.

DE CARVALHO, Kahan Monteiro; PESSÔA, Leonel Cesarino. Classificação de projetos: um estudo da aplicação do método AHP. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 3, n. 1, p. 280–298, 1 abr. 2012.

DOS SANTOS, Camilla Albuquerque Porfirio; NAGANO, Marcelo Seido. Aplicação do Analytic Hierarchy Process na priorização de projetos em

uma empresa de grande porte do setor químico brasileiro. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 15, n. 1, p. 212–230, 27 fev. 2024.

ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO. **Manual de Campanha - Vetores Aéreos da Força Terrestre**. 2014.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. **IPEV realiza avaliação operacional em helicóptero H225M utilizado pelas Forças Armadas**. 30 out. 2017. Disponível em: <<http://www.fab.mil.br/noticias/imprime/31188/>>. Acesso em: 8 set. 2021.

GOMES, K. G. A. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de Intendência da FAB**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Matthias; FIGUEIRA, José Rui (ORGS.). **Multiple Criteria Decision Analysis**. New York, NY: Springer New York, 2016. v. 233.

HEHENBERGER, Simon et al. A miniaturized all-GNSS bands antenna array incorporating multipath suppression for robust satellite navigation on UAV platforms. **IEEE Xplore**, 22 mar. 2021. Disponível em: [https://elib.dlr.de/136634/1/A\\_Miniaturized\\_All-GNSS\\_Bands\\_Antenna\\_Array\\_Incorporating\\_Multipath\\_Suppression\\_for\\_Robust\\_Satellite\\_Navigation\\_on\\_UAV\\_Platforms.pdf](https://elib.dlr.de/136634/1/A_Miniaturized_All-GNSS_Bands_Antenna_Array_Incorporating_Multipath_Suppression_for_Robust_Satellite_Navigation_on_UAV_Platforms.pdf). Acesso em: 8 set. 2021.

INCOSE. **Systems engineering handbook**. [S.l.: S.n.].

INFANTE, Carlos Eduardo Durange de C. Interdisciplinary multicriteria analysis in the simulation of complex negotiations a study on safeguards. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 30, n. 1, p. 125-147, 2024.

ISO/IEC/IEEE. **Systems and software engineering - System life cycle processes**. ISO/IEC/IEEE 15288, 2015.

ISO/IEC/IEEE. **ISO/IEC/IEEE International standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering**,

p. 1–104, 2018.

KOSSIAKOFF, Alexander *et al.* **Systems engineering principles and practice**. [S.l.]: Wiley, 2011.

KOSTLAN, Eric. Statistical complexity of dominant eigenvector calculation. **Journal of Complexity**, v. 7, n. 4, p. 371–379, dez. 1991.

LAKE, Jon. Attack helicopters. **Military Technology**, p. 14–15, 2018.

LARSON, Wiley *et al.* **Applied space systems engineering**. Hoboken: McGraw-Hill, 2009.

MEIER, T. M.; MORI, R. B. Z. Uma abordagem multicritério para o problema de localização da comissão de aeroportos da região amazônica. **SIGE- Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa**, São José dos Campos, 2021.

PAN, Yu *et al.* Energy-efficiency optimization of UAV-based cognitive radio system. **IEEE Access**, v. 7, p. 155381–155391, 2019.

PARNELL, Gregory S. *et al.* System design and engineering trade-off analytics: state of the published practice. **Systems Engineering**, v. 24, n. 3, p. 125–143, 3 maio 2021.

PARNELL, Gregory S.; CILLI, Matthew V.; BUEDE, Dennis. Tradeoff study cascading mistakes of omission and commission. **INCOSE International Symposium**, v. 24, n. 1, p. 332–346, 31 jul. 2014.

PIVATTO JÚNIOR, Dilceu Roberto. A presença da Marinha brasileira na Amazônia: do pós-Guerra Fria aos anos iniciais do século XXI. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 30, n. 2, p. 415–440, 2024.

REIM, Garrett. **AH-64E teams with two UAVs to identify, attack target**. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/helicopters/ah-64e-apache-teams-with-two-uavs-to-identify-attack-target/142277.article#:~:text=AH%2D64E%20teams%20with%20two%20UAVs%20to%20identify%2C%20attack%20target&text=The%20US%20Army%20says%20>

it,unmanned%20air%20vehicles%20(UAVs). Acesso em: 5 set. 2021.

RIBEIRO, Erika Almeida; ASSIS, Ana Carolina de Oliveira. Base industrial de defesa brasileira: uma análise de clusters espaciais e de concentração industrial. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 30, n. 2, 2024.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processos**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1 jan. 1987.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, set. 1990.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the Analytic Hierarchy Process**. Boston, MA: Springer US, 2012. v. 175.

SANTIN, Lucas Circeli Barbieri; PACHECO, Bruna Cristine Scarduelli; NAGANO, Marcelo Seido. Utilização do método AHP em projeto para seleção de uma agência de marketing em uma empresa B2B. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 14, n. 2, p. 174–195, 1 ago. 2023.

SANTOS, Fábio; STABILE, Arthur. **Brasil usa drones militares próprios e importados; versão de combate chega em 2027; conheça**. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2025/03/13/nauru-hermes-heron-scaneagle-e-horus-os-drones-usados-pelas-forcas-armadas-brasileiras.gh.html>. Acesso em: 12 mar. 2025.

SANTOS, Thauan; FONTES, Arthur César de Souza. A participação amazônica na economia do mar do Brasil uma análise das atividades relacionadas a portos e defesa. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 26, n. 2, p. 347–380, 2020.

SILLITTO, Hillary et al. **Envisioning systems engineering as a transdisciplinary venture**. Washington-DC, 2018.

SILVA, A. C. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; PANTOJA, F. Priorização de projetos de P&D no setor aeroespacial: método AHP com ratings. **SIGE-Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa**, São José dos Campos, 2010.

SILVEIRA, Fabiano Rocha da. **Estudo comparativo da doutrina de emprego dos helicópteros de reconhecimento e ataque da Aviação do Exército do Brasil, França e Estados Unidos da América**. 2020. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Ciências Militares com ênfase em Defesa Nacional). Rio de Janeiro: Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2020.

SOUZA, Y. et al. A utilização de métodos de apoio multicritério à decisão na escolha de sistemas espaciais. **SIGE- Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa**, São José dos Campos, 2022.

TORTORELLA, Guilherme L.; FOGLIATTO, Flávio S. Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. **Production**, v. 18, n. 3, p. 609–624, dez. 2008.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of Defense. **Systems Engineering Guidebook**. Washington, D.C., 2021.

WIDYAKSA, Arda *et al.* Impact assessment of Minimum Essential Force (MEF) achievement of Indonesian navy using integrated Delphi-AHP-TOPSIS. **Journal of Maritime Research**, v. 21, n. 3, p. 177–191, 30 dez. 2024.  
WU, Sikai et al. A UAV detection and countermeasures strategy evaluation system based on AHP. *IEEE Xplore*, 25 out. 2024. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10862772>. Acesso em: 12 mar. 2025.

YASBECK, Airton Miguel Junior. **Aeronave remotamente pilotada e sua contribuição para o emprego em combate pela FAB**. 2017. 57 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia (CAEPE). Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 2017.

ZELÉNY, Milan. Multiple Criteria Decision Making (MCDM). **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**, 29 set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat01701>. Acesso em: 12 mar. 2025.

**\*Recebido em 17 de abril de 2025, e aprovado para publicação em 04 de agosto de 2025.**