

# ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE DE MÍSSEIS DE DEFESA ANTIAÉREA DE MÉDIO ALCANCE<sup>1</sup>

## *MULTICRITERIA APPROACH FOR THE ANALYSIS OF MEDIUM-RANGE AIR DEFENSE MISSILES*

Flávio Tavares da Cunha<sup>2</sup>  
Luciane Ferreira Alcoforado<sup>3</sup>

### RESUMO

Este artigo propõe a construção de um modelo de apoio à decisão voltado à seleção de mísseis superfície-ar de médio alcance para a Força Aérea Brasileira (FAB), no contexto do avanço tecnológico de armamentos e da crescente necessidade de modernização da defesa antiaérea nacional. A pesquisa busca responder à seguinte pergunta: qual míssil de defesa antiaérea de médio alcance melhor atende às necessidades operacionais da FAB, considerando critérios técnicos e operacionais? Para isso, definiu-se para objetivo geral analisar alternativas de mísseis de defesa antiaérea de médio alcance à luz de critérios técnicos relevantes para a FAB. Como objetivos específicos, estabeleceram-se: identificar os principais mísseis de defesa antiaérea de médio alcance; selecionar critérios relevantes à realidade da FAB; aplicar um método de análise multicritério para comparar as alternativas; e classificar os mísseis de acordo com os resultados obtidos na análise comparativa. A metodologia adotada segue uma abordagem qualitativa e quantitativa, por meio da aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP), em sua versão holística. Foram considerados oito critérios técnicos, como tipo de guiagem, tipo de ogiva e alcance, e avaliadas seis alternativas de mísseis amplamente reconhecidos no cenário internacional. A coleta de dados foi realizada com quatro especialistas em defesa antiaérea e um em relações internacionais. A análise dos dados, realizada com o auxílio do software AHPWizaRd, permitiu calcular os pesos relativos, verificar a consistência dos julgamentos e ranquear as alternativas. Os resultados indicam que o míssil PAC-3 MSE apresenta a melhor adequação técnica segundo os critérios definidos, demonstrando a aplicabilidade e eficácia da abordagem proposta.

**Palavras-chave:** Defesa Antiaérea; AHP; Método Multicritério.

---

<sup>1</sup> Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais de Infantaria (CFOInf) da Academia da Força Aérea (AFA).

<sup>2</sup> Cadete de Infantaria do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

<sup>3</sup> Profa. Associada de Matemática da Academia da Força Aérea, integrante do Grupo de Pesquisa em Modelagem Matemática e Computacional - GMMC, Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação e Doutora em Engenharia Civil. E-mail: luciane@id.uff.br.

## ABSTRACT

This article proposes the construction of a decision support model aimed at selecting medium-range surface-to-air missiles for the Brazilian Air Force (FAB), within the context of technological advancements in weaponry and the growing need to modernize the national air defense system. The research seeks to answer the following question: which medium-range air defense missile best meets the operational needs of the FAB, considering technical and operational criteria? To address this, the general objective was defined as analyzing medium-range air defense missile alternatives based on technical criteria relevant to the FAB. The specific objectives established include identifying the main medium-range air defense missiles; selecting criteria relevant to the FAB's operational reality; applying a multicriteria analysis method to compare the alternatives; and ranking the missiles according to the results obtained in the comparative analysis. The methodology adopted follows both qualitative and quantitative approaches, through the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method in its holistic version. Eight technical criteria were considered, such as guidance type, warhead type, and range, and six internationally recognized missile alternatives were evaluated. Data collection was conducted with four air defense specialists and one expert in international relations. The data analysis, performed using the AHPWizard software, enabled the calculation of relative weights, verification of judgment consistency, and ranking of the alternatives. The results indicate that the PAC-3 MSE missile demonstrates the best technical suitability according to the defined criteria, highlighting the applicability and effectiveness of the proposed approach.

**Keywords:** Air Defense; AHP; Multicriteria Method.

## INTRODUÇÃO

Segundo a Diretriz do Comando da Aeronáutica (DCA) 1-1, a Defesa Antiaérea é definida como a “ação que consiste em empregar meios de Força Aérea, a partir da superfície, para detectar, identificar e neutralizar vetores aéreos oponentes que ameacem forças amigas e Áreas ou Pontos Sensíveis de interesse da Força Aérea” (Ministério da Defesa, 2020, p. 30). Tal definição evidencia o papel da defesa antiaérea na manutenção da soberania do espaço aéreo e na proteção da nação.

A Ação de Defesa Antiaérea está diretamente vinculada às tarefas de Controle Aeroespacial e Proteção da Força, que são elementos fundamentais para a Força Aérea Brasileira (FAB). O Controle Aeroespacial envolve a vigilância e a gestão do espaço aéreo, garantindo que todas as aeronaves sejam devidamente identificadas e que ameaças sejam neutralizadas antes que possam causar danos às forças amigas. Já a Proteção da Força abrange a implementação de medidas defensivas para proteger ativos militares e civis. Assim, a integração desses sistemas com as demais

operações aéreas e terrestres é crucial para garantir uma defesa eficaz contra ameaças (Ministério da Defesa, 2020).

O Manual de Campanha de Defesa Antiaérea (2017a) destaca que, historicamente, a FAB não foi inicialmente estruturada para operar sistemas de defesa do tipo superfície-ar, principalmente devido à experiência durante a Segunda Guerra Mundial, na qual as bases aéreas brasileiras eram administradas e protegidas pelos Aliados. Nessa época, foi aprendido e adotado que a responsabilidade pela segurança contra vetores aéreos recai sobre o Exército. A retomada de parte dessa responsabilidade pela FAB só ocorreu em 1997, com a compra dos mísseis antiaéreos portáteis IGLA 9K38 da Rússia, o que marcou o início da estruturação da defesa antiaérea na Força Aérea Brasileira. Atualmente, a FAB conta operacionalmente com três Grupos de Defesa Antiaérea (GDAAE), localizados em Canoas, Manaus e Anápolis (Ministério da Defesa, 2017a).

Esse manual destaca também a importância da implementação de camadas de defesa, nas quais sistemas de curto, médio e longo alcance trabalham em conjunto para fornecer uma proteção abrangente. O armamento de médio alcance é definido como aquele que é efetivo contra alvos de 10 a 50 milhas náuticas de distância (aproximadamente 18 a 92 km) (Ministério da Defesa, 2017a). Considerando esse conceito, observa-se que a Força Aérea Brasileira apresenta atualmente uma lacuna significativa nesse tipo de capacidade. Tal deficiência compromete a efetividade da defesa em camadas, aumentando a vulnerabilidade de ativos estratégicos frente a ameaças aéreas modernas, como mísseis balísticos e aeronaves de alta performance. Diante disso, torna-se necessária a avaliação criteriosa de soluções capazes de mitigar esses riscos.

Diante dessa lacuna nos meios de defesa antiaérea de médio alcance da Força Aérea Brasileira, torna-se ainda mais urgente considerar o cenário atual de avanço tecnológico dos sistemas de armas e o crescimento das tensões geopolíticas em diversas regiões do mundo. Esses fatores reforçam a necessidade de reequipar as forças armadas com sistemas capazes de assegurar a soberania nacional. No contexto da FAB, isso implica considerar alternativas internacionais já consolidadas e avaliar, de forma estruturada e objetiva, qual míssil de defesa antiaérea de médio alcance melhor se alinha às suas necessidades operacionais. Justifica-se, portanto, a presente pesquisa pela necessidade de oferecer subsídios técnicos à tomada de decisão, considerando critérios como alcance, velocidade e origem dos mísseis, por exemplo.

Com base nesse cenário, a pergunta que norteia esta investigação é: qual míssil de defesa antiaérea de médio alcance melhor atende às necessidades operacionais da Força Aérea Brasileira, considerando critérios técnicos? Para respondê-la, este trabalho tem como objetivo geral analisar

alternativas de mísseis de defesa antiaérea de médio alcance à luz de critérios técnicos relevantes para a FAB.

Para alcançar esse objetivo, serão perseguidos os seguintes objetivos específicos: identificar os principais mísseis de defesa antiaérea de médio alcance; selecionar critérios relevantes à realidade da FAB; aplicar um método de análise multicritério para comparar as alternativas; e classificar os mísseis de acordo com os resultados obtidos na análise comparativa. Acredita-se que os resultados obtidos poderão contribuir com o processo de modernização da defesa antiaérea da Força Aérea Brasileira, alinhando capacidade operacional com as exigências do cenário de segurança atual.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção busca apresentar inicialmente as características de cada elemento analisado e depois esclarece o funcionamento do método utilizado para realizar a comparação.

### 1.1 PAC-3 MSE

Os mísseis *PATRIOT Advanced Capability Three* (PAC-3) integram o sistema de defesa norte americano *Phased Array Tracking to Intercept on Target* (PATRIOT). Todas as suas versões são desenvolvidas pela empresa Lockheed Martin Missiles, que dependendo da tecnologia aplicada seu alcance varia de 15 km até 70 km (Ferreira, 2023).

O míssil PAC-3 foi o primeiro a empregar a tecnologia hit-to-kill, na qual o alvo é destruído por impacto direto, sem o uso de ogiva explosiva. Esse método reduz a probabilidade de que o alvo seja apenas parcialmente neutralizado, aumentando a efetividade da interceptação (Stumpf, 2024).

A versão *Missile Segment Enhancement* (MSE) do PAC-3 conta com melhoramentos no motor propulsão, na fuselagem e no software de guiamento. Isso fornece mais agilidade e letalidade ao míssil (Mainha, 2013). O Quadro 1 apresenta as principais características dessa versão, complementando as informações descritas.

**Quadro 1** Especificações técnicas do míssil PAC-3 MSE

Especificações PAC-3 MSE	
Origem	Estados Unidos
Alcance	40 km
Velocidade	Mach 5
Guiagem	Radar ativo
Ogiva	Hit-to-kill (sem explosivo)
Propulsão	Propelente sólido de estágio único
Altitude	35 km
Ano	2016

Fonte: elaborado com base em Tecno Militar (2024)

## 1.2 ASTER 30

Os mísseis Aster 30 compõem os sistemas de defesa aérea da França, da Itália e do Reino Unido, sendo resultado de um projeto conjunto entre as empresas MBDA e Thales. O desenvolvimento do sistema teve como objetivo substituir o míssil Hawk, anteriormente utilizado pela França e pela Itália, oferecendo maior capacidade de resposta frente às ameaças (Mainha, 2013).

O Aster 30 possui um motor em dois estágios no qual o primeiro motor utilizado se desacopla do restante do míssil alguns segundos após ser acionado. Ele também incorpora a tecnologia hit-to-kill, o que dispensa o uso de carga explosiva em sua estrutura para conseguir neutralizar o alvo (MBDA, 2025).

Segundo a fabricante (MBDA, 2025) o Aster 30 encontra-se operacional na Marinha dos três países citados, e possui a característica de poder ser integrado a diferentes tipos de radares e sistemas de comando e controle. O Quadro 2 apresenta as principais características desse míssil.

**Quadro 2** Especificações técnicas do míssil Aster 30

Especificações Aster 30	
Origem	França e Itália
Alcance	120 km
Velocidade	Mach 4,5
Guiagem	Radar ativo
Ogiva	Hit-to-kill (sem explosivo)
Propulsão	Propelente sólido de 2 estágios
Altitude	20 km
Ano	2001

Fonte: elaborado com base em MBDA (2025)

### 1.3 BARAK 8

O míssil Barak 8 foi desenvolvido a partir de uma parceria entre Israel e Índia, sendo os responsáveis pela produção a Organização de Pesquisa e Desenvolvimento de Defesa da Índia, a *Israel Aerospace Industries*(IAI) e a *Rafael Advanced Defense Systems* (Raghuvanshi, 2019).

Segundo a fabricante, o míssil pode ser operado tanto em plataformas navais quanto terrestres (Israel, 2025). Além disso, é equipado com tecnologia de contramedidas eletrônicas, que lhe confere alta resistência contra tentativas de interferência inimiga destinadas a comprometer seu desempenho operacional. O Quadro 3 apresenta as principais características do Barak 8 complementando as informações descritas.

**Quadro 3** Especificações técnicas do míssil Barak 8

Especificações Barak 8	
Origem	Israel e Índia
Alcance	35 km
Velocidade	Mach 3
Guiagem	Radar ativo
Ogiva	60 kg
Propulsão	Propelente sólido de estágio único
Altitude	20 km
Ano	2016

Fonte: elaborado com base em Israel (2025)

#### 1.4 HQ-16

O HQ-16 é um míssil de origem chinesa e foi implementado no país em 2011. Ele é fruto do investimento que o governo fez na indústria bélica, o que permitiu o desenvolvimento de armas nacionais e diminui a dependência de nações estrangeiras (Apresentando [...], 2021).

Diferentemente do mísseis BuK-M2, que eram os mísseis russos utilizados pela China antes do desenvolvimento do HQ-16, o sistema de defesa antiaérea chinês pôde aproveitar duas novas melhorias

O HQ-16 incorpora duas melhorias relevantes em relação a gerações anteriores de mísseis utilizados pela China. A primeira é o lançamento a partir de células verticais, o que permite uma defesa homogênea em todas as direções e também o disparo mesmo que o sistema se encontre em locais de cobertura densa, como cidades e florestas. A segunda diz respeito ao veículo de lançamento que passou a ser um caminhão 6x6 de alta mobilidade, o que compromete a capacidade off-road mas facilita a manutenção e aumenta o desempenho na estrada (Apresentando [...], 2021). O Quadro 4 apresenta as principais características do HQ-16 complementando as informações descritas.

**Quadro 4** Especificações técnicas do míssil HQ-16

Especificações HQ-16	
Origem	China
Alcance	40 km
Velocidade	Mach 2,8
Guiagem	Radar ativo
Ogiva	60 kg
Propulsão	Propelente sólido de 2 estágios
Altitude	20 km
Ano	2011

Fonte: elaborado com base em Global (2025)

### 1.5 9M96E

O míssil 9M96E é um míssil de médio alcance desenvolvido para os sistemas de defesa S-350 Vityaz e S-400 Triumf, ambos de origem russa. Embora tenha sido projetado como uma arma de médio alcance, uma nova versão, o 9M96E2, foi desenvolvida para atuar em distâncias maiores. Apesar de possuir uma ogiva de 24 kg, o míssil é capaz de operar na modalidade *hit-to-kill* (Koop, 2009).

A característica do tipo de guiagem do míssil ser semi-ativo, segundo Guedes e Kischinhevsky (2006), indica que é necessário que o radar em solo ilumine o alvo até o momento da interceptação. A onda eletromagnética emitida pelo radar, reflete no alvo e é captada pelo míssil, isso permite o devido equilíbrio entre eficiência e custo pois não exige que um radar emissor seja integrado ao próprio míssil. O Quadro 5 apresenta as principais características do míssil 9M96E.

**Quadro 5** Especificações técnicas do míssil 9M96E

Especificações 9M96E	
Origem	Rússia
Alcance	40 km
Velocidade	Mach 2,2
Guiagem	Radar semi-ativo
Ogiva	24 kg
Propulsão	Propelente sólido de estágio único
Altitude	20 km
Ano	2016

Fonte: elaborado com base em Harmer (2016) e Kopp (2009)

### 1.6 IRIS-T SLM

Os mísseis *InfraRed Imaging System Tail* (IRIS-T) integram o sistema de defesa da Alemanha. Eles são produzidos pela empresa Diehl Defense. Sua versão SLM (*Surface Launched Medium-range*) apresenta um alcance de até 40 km (Ferreira, 2023).

O desenvolvimento do IRIS-T buscou ser uma alternativa ao míssil PAC-3 MSE, por conta de seu alto custo, inicialmente por um esforço combinado de Estados Unidos, Alemanha e Itália (Gotkowska, 2018).

O desenvolvimento do míssil superfície-ar IRIS-T SLM é produto da adaptação do míssil ar-ar IRIS-T. Para sofrer essa alteração, ele demandou modificações em seu sistema de lançamento e na compatibilidade com radares terrestres (Rădulescu; Şandru, 2017). O Quadro 6 apresenta as principais características dessa versão, complementando as informações descritas.

**Quadro 6** Especificações técnicas do míssil IRIS-T SLM

Especificações IRIS-T SLM	
Origem	Alemanha
Alcance	40 km
Velocidade	Mach 3
Guiagem	Radar semi-ativo
Ogiva	11,4 kg
Propulsão	Propelente sólido de estágio único
Altitude	20 km
Ano	2017

Fonte: elaborado com base em Ferreira (2023) e Army Recognition (2025)

## 1.7 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO

A tomada de decisão em contextos complexos frequentemente envolve múltiplos critérios que precisam ser analisados simultaneamente. Nessas situações, os métodos de decisão multicritério (MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*) oferecem um suporte estruturado, permitindo considerar diferentes fatores que podem ser conflitantes ou de difícil comparação direta (Linkov; Moberg, 2011). Esses métodos são aplicados em diversas áreas como engenharia, gestão, planejamento urbano, saúde e meio ambiente, auxiliando na seleção de alternativas de forma mais clara e justificada.

Entre os métodos MCDA mais conhecidos está o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido por Saaty (1977). O AHP organiza o problema em forma de hierarquia, dividindo-o em níveis de objetivo, critérios e alternativas. Em seguida, realiza comparações entre os critérios dois a dois, com base em julgamentos subjetivos, para determinar a importância relativa de cada um. O método é valorizado pela sua simplicidade e por possibilitar a participação de especialistas na definição das preferências.

Outro grupo importante de métodos é representado pela MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), que utiliza funções de utilidade para modelar as preferências do tomador de decisão. Essa abordagem é indicada quando há necessidade de quantificar os benefícios esperados de cada alternativa, especialmente em decisões onde os critérios podem ser medidos com precisão (Dyer,

2005). Em contraste, os métodos de sobreclassificação, como o ELECTRE (*Élimination et Choix Traduisant la Réalité*), não buscam uma ordenação global, mas sim identificar alternativas que dominam outras em certos critérios, mesmo que não sejam melhores em todos (Aruldoss;Lakshmi;Venkatesan, 2013).

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) também adota uma abordagem de comparação par a par, mas com base em funções de preferência e fluxos positivos e negativos, gerando uma ordenação das alternativas com base na intensidade das preferências (Araújo; Almeida, 2009). Já o método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) avalia as alternativas considerando a proximidade de uma solução ideal e o afastamento de uma solução negativa, sendo mais adequado para critérios quantificáveis (Aruldoss;Lakshmi;Venkatesan, 2013).

Dentre os métodos disponíveis, o AHP foi selecionado nesta pesquisa por permitir a estruturação hierárquica do problema, facilitando a visualização dos critérios e a comparação entre eles. Sua aplicação favorece a análise de problemas com múltiplos critérios, mesmo quando as informações são qualitativas ou baseadas em julgamento humano (Wolff, 2008).

## 1.8 MÉTODO AHP

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty (1977) com o objetivo de auxiliar a tomada de decisões em ambientes complexos por meio da decomposição do problema em uma estrutura hierárquica de critérios e alternativas. O método se baseia na ideia de que os decisores são capazes de realizar julgamentos relativos entre pares de elementos, permitindo a extração de prioridades numéricas a partir dessas comparações.

O AHP apresenta como principais vantagens sua flexibilidade, capacidade de lidar com critérios qualitativos e quantitativos, e a transparência que oferece ao processo decisório. Além disso, permite a verificação da consistência lógica dos julgamentos, o que não está presente em outros métodos multicritério (Wind; Saaty, 1980).

Antes de utilizar esse método é necessário estar ciente que ele também possui limitações. A principal delas é o número elevado de comparações necessárias quando se utiliza o modelo tradicional, que cresce exponencialmente com o número de critérios e alternativas. Há também críticas à simplificação excessiva e à dificuldade em manter a consistência nos pares comparados em alguns casos (Silva, 2007).

A aplicação tradicional do AHP pode ser descrita como robusta e rigorosa, mas sua complexidade cresce rapidamente com o número de critérios e alternativas, tornando-se menos viável em contextos operacionais amplos (Vargas, 2010). Além disso, o processo de comparações paritárias pode ser demorado e exigir esforço cognitivo elevado por parte dos avaliadores.

Em função dessas limitações práticas, adaptações têm sido propostas para tornar o AHP mais acessível e aplicável a contextos reais. Uma das abordagens mais comuns consiste na substituição das comparações paritárias por escalas absolutas de pontuação, como a utilização de escalas de 0 a 10 para a avaliação de cada alternativa em relação a cada critério.

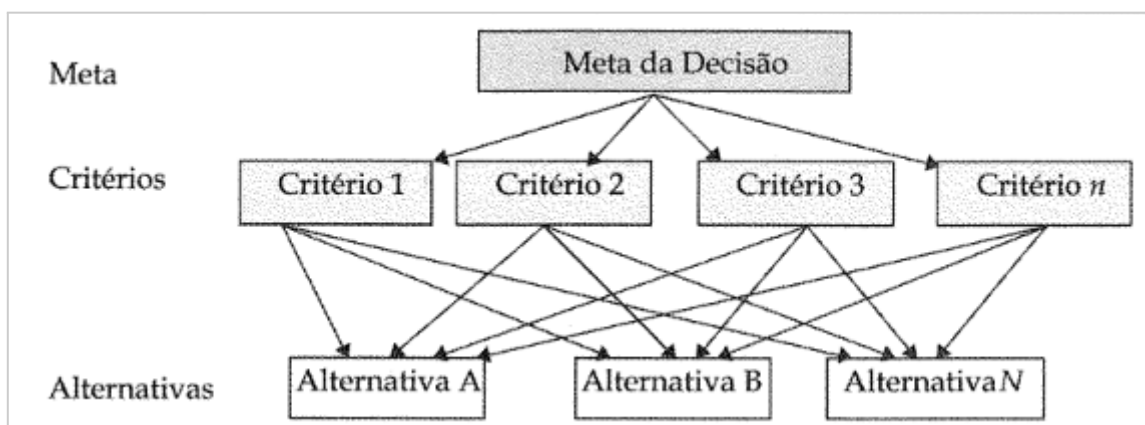
Nesse modelo adaptado, a estrutura hierárquica e os fundamentos do AHP são preservados, mas as avaliações são feitas de maneira direta, atribuindo notas a cada alternativa com base no grau de atendimento ao critério em questão. Essa prática é especialmente útil quando há um grande número de alternativas ou quando os avaliadores não estão familiarizados com o processo de comparação par a par (Godoi, 2014).

Além disso, hoje existem softwares especializados que automatizam os cálculos envolvidos no AHP, incluindo a normalização das matrizes, o cálculo dos pesos e da razão de consistência, além da geração dos rankings finais. As soluções também podem ser desenvolvidas em planilhas eletrônicas ou linguagens de programação como Python e R (Vargas, 2010).

### 1.8.1 Estrutura de aplicação do AHP com Julgamento Holístico

Segundo Saaty (1980), criador do método, o AHP envolve três etapas fundamentais: a estruturação do problema em uma hierarquia composta por objetivo, critérios e alternativas; a realização de comparações entre pares de elementos da hierarquia, utilizando uma escala para expressar a importância relativa de um elemento sobre o outro; e o cálculo dos vetores de prioridade por meio de métodos matriciais, como a extração do autovalor principal e do vetor próprio associado, além da verificação do índice de consistência (IC) e da razão de consistência (RC).

Conforme observado na figura 1, a hierarquia é composta basicamente por três níveis principais: no topo, encontra-se o objetivo da decisão; em um nível intermediário estão os critérios (se necessário estarão também os subcritérios) que influenciam a escolha; e no nível mais baixo estão as alternativas disponíveis para alcançar o objetivo. Essa estrutura simplifica o problema abordado e demonstra qual a relação que existe entre os elementos de cada nível, o que torna o processo de decisão mais transparente e organizado (Saaty, 2008).



**Figura 1** Estrutura hierárquica

Fonte: Granemann, Gartner (1998)

A definição dos critérios é fundamental, pois eles representam os aspectos sob os quais as alternativas serão avaliadas. De acordo com o nível de complexidade do problema os critérios podem ser desdobrados em subcritérios, gerando hierarquias mais detalhadas (Vargas, 2010).

A clareza na construção da hierarquia é importante para as etapas posteriores, pois as comparações tendem a ser mais consistentes e refletem corretamente as preferências do decisor.

A próxima etapa do AHP, conforme originalmente proposto por Saaty, consiste na realização de comparações paritárias, ou seja, a comparação de cada critério com os demais e, posteriormente, de cada alternativa à luz de cada critério. Essa etapa é fundamental no modelo tradicional, pois é por meio dela que se constroem as matrizes de julgamentos e se atribuem os pesos relativos. No entanto, como este trabalho utilizará o julgamento holístico como uma variante do AHP a comparação não será efetuada diretamente nas matrizes paritárias.

As comparações par a par podem gerar inconsistências, especialmente quando o avaliador não tem familiaridade com o método ou quando há muitos elementos a serem comparados. Foi nesse contexto que surgiu o Julgamento Holístico, proposto por Godoi (2014), como uma alternativa para facilitar a construção da matriz de comparações paritárias.

O julgamento holístico é um procedimento auxiliar que visa tornar mais intuitiva e simples a construção da matriz de comparação no AHP. Em vez de solicitar que o decisor compare todos os pares de critérios diretamente (o que pode ser cansativo e propenso a erros), o método propõe que se atribuam pesos absolutos diretamente a cada critério ou alternativa, com base em uma avaliação geral (Nunes et al., 2020).

Godoi (2014) explica que após estruturação dos critérios e alternativas os próximos passos na utilização do julgamento holístico são:

- 1 - Atribuir notas aos itens
- 2 - Aplicar as fórmulas para construção dos julgamentos na matriz de julgamentos paritários;
- 3 - Realizar análises de consistência e verificação da melhor alternativa.

A primeira etapa consiste na atribuição de notas aos critérios e alternativas, com base na percepção global do avaliador sobre sua importância relativa. Esses valores são atribuídos de forma isolada e direta. Essas notas iniciais constituem a base sobre a qual serão calculados os pesos e construída toda a estrutura de decisão. Observa-se um exemplo simples na Tabela 1 construído para apoio à compreensão.

**Tabela 1** Avaliação dos critérios

<b>Critérios</b>	<b>Nota atribuída</b>
C1	7
C2	5
C3	2

Fonte: elaboração própria

A tabela 1 demonstra que para o avaliador que atribuiu essas notas o critério 1 é o mais relevante para a decisão final.

Já a atribuição de pesos às alternativas pode seguir dois caminhos distintos, dependendo da natureza do critério ao qual estão sendo avaliadas. Quando o critério é de natureza subjetiva, como beleza, conforto ou reputação, a avaliação ocorre de forma semelhante à realizada para os critérios, com a atribuição de notas baseada na percepção do avaliador. Nesse caso, não há dados fixos ou valores corretos: a decisão depende da opinião e julgamento individual de quem analisa.

Por outro lado, quando o critério é objetivo, como custo, peso ou velocidade máxima, os valores atribuídos às alternativas devem refletir seu desempenho real. Nesses casos, os dados são verificáveis, e os resultados não variam conforme o avaliador. Assim, a atribuição de notas deve levar em conta a comparação entre os desempenhos reais apresentados por cada alternativa.

No mesmo exemplo da Tabela 1, supõe-se que o objetivo seja escolher a melhor alternativa entre A1, A2 e A3, e que estejam sendo comparados com base nos três critérios citados. Deve ser considerado também que apenas o Critério 1 é subjetivo e os outros dois são objetivos. A Tabela 2 representa a avaliação de cada alternativa em relação aos critérios.

**Tabela 2** Avaliação das alternativas

Alternativas	C1	C2	C3
A1	8	9	2
A2	3	7	5

Fonte: elaboração própria

Na sequência, aplica-se a fórmula de atribuição de julgamentos (Equação 1 ou 2, dependendo da relação entre o julgado e a referência), que transforma as notas atribuídas em valores comparativos entre os itens, permitindo a geração da matriz de julgamentos paritários exigida pelo AHP. Essa fórmula compara cada item com os demais de forma automatizada, simulando a lógica das comparações tradicionais, porém com maior agilidade e menor risco de inconsistência.

$$\text{se } j \geq RJ \quad \therefore (j - RJ) + 1$$

(1)

$$\text{se } j < RJ \quad \therefore 1 / [(RJ - j) + 1]$$

(2)

Onde:

$j$  = Julgado (elemento linha na matriz de comparação paritária)

$RJ$  = Referência de julgamento (elemento coluna na matriz de comparação paritária)

A matriz de julgamentos é a ferramenta matemática que reúne todas as preferências expressas pelos decisores de forma visual e sistemática (Silva, 2007). Cada elemento da matriz representa a comparação entre dois itens: as linhas são os componentes que estão sendo comparados e as colunas são os componentes com os quais as linhas serão comparadas. A tabela 3 representa a

matriz de julgamento dos critérios e as Tabelas 4, 5 e 6 as matrizes das alternativas de acordo com cada critério.

**Tabela 3** Matriz de julgamento dos critérios

<b>Critérios</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
C1	$(7 - 7) + 1 = 1$	$(7 - 5) + 1 = 3$	$(7 - 2) + 1 = 6$
C2	$1 / [(7 - 5) + 1] = 1/3$	$(5 - 5) + 1 = 1$	$(5 - 2) + 1 = 4$
C3	$1 / [(7 - 2) + 1] = 1/6$	$1 / [(5 - 2) + 1] = 1/4$	$(2 - 2) + 1 = 1$

Fonte: elaboração própria, com base em Godoi (2014)

**Tabela 4** Matriz de julgamento das alternativas à luz do Critério 1

<b>Alternativas</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
A1	$(8 - 8) + 1 = 1$	$(8 - 3) + 1 = 6$
A2	$1 / [(8 - 3) + 1] = 1/6$	$(3 - 3) + 1 = 1$

Fonte: elaboração própria, com base em Godoi (2014)

**Tabela 5** Matriz de julgamento das alternativas à luz do Critério 2

<b>Alternativas</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
A1	$(9 - 9) + 1 = 1$	$(9 - 7) + 1 = 3$
A2	$1 / [(9 - 7) + 1] = 1/3$	$(7 - 7) + 1 = 1$

Fonte: elaboração própria, com base em Godoi (2014)

**Tabela 6** Matriz de julgamento das alternativas à luz do Critério 3

<b>Alternativas</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
A1	$(2 - 2) + 1 = 1$	$1 / [(5 - 2) + 1] = 1/4$
A2	$(5 - 2) + 1 = 4$	$(5 - 5) + 1 = 1$

Fonte: elaboração própria, com base em Godoi (2014)

Na interpretação das matrizes de julgamento é possível perceber que a diagonal principal da matriz é sempre composta por valores iguais a 1, pois cada item comparado consigo mesmo tem importância igual. Além disso, as comparações são recíprocas: o valor de uma célula é o inverso da

célula espelhada (ou seja  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ). Esta matriz serve de base para calcular os pesos relativos de cada critério e alternativa, que expressam, de forma numérica e proporcional, a importância de cada um na decisão final.

O método holístico do AHP diferencia-se do modelo tradicional apenas na etapa de construção das matrizes de julgamento paritário. A partir desse ponto, os procedimentos seguem de forma similar em ambas as abordagens.

Na sequência o próximo objetivo é encontrar o maior autovalor da matriz de julgamentos (autovalor principal) e o vetor próprio associado, por meio da Equação 3.

Segundo Kollman e Hill (2006) chama-se de autovetor e autovalor de A, respectivamente, o vetor  $x$  e o valor  $\lambda$  na Equação 3, tal que:

$$A \cdot x = \lambda \cdot x \quad (3)$$

A = Matriz de julgamento

$x$  = Autovetor

$\lambda$  = Autovalor da matriz A

No AHP, utiliza-se o autovalor máximo e o respectivo autovetor principal (também chamado de vetor de Eigen) da matriz de julgamentos. Embora seja possível estimar esses valores manualmente, por meio de softwares matemáticos é possível chegar aos resultados exatos.

Conforme explica Vargas (2010), “os valores encontrados para o vetor de Eigen têm significado físico direto no AHP. Ele determina a participação ou o peso daquele critério no resultado total da meta”.

Assim, os pesos relativos dos critérios — que serão utilizados no cálculo das pontuações finais das alternativas — já estão definidos. No entanto, antes de aplicá-los, é necessário verificar a consistência das comparações, a fim de garantir a validade dos julgamentos realizados.

O processo de comparação par a par no AHP depende diretamente dos julgamentos subjetivos dos tomadores de decisão. Por essa razão, é fundamental verificar se esses julgamentos são consistentes, ou seja, se seguem uma lógica interna razoável. Por exemplo, não faz sentido dizer que o critério A é mais importante que B, que o critério B é mais importante que C e que o critério C é mais importante que A.

Tal contradição prejudica a credibilidade do modelo. Por isso, Saaty (1980) propôs uma medida objetiva de consistência, baseada em álgebra linear, que compara a matriz real com uma matriz perfeitamente consistente.

Para calcular a Razão de Consistência (RC) é necessário calcular o Índice de Consistência (IC), definido pela Equação 4:

$$IC = \frac{\lambda - n}{n-1} \quad (4)$$

IC = Índice de Consistência

$\lambda$  = Maior autovalor da matriz de comparação

n = Número de critérios

Outro componente da Razão de Consistência é o Índice Aleatório (RI) que é um valor tabelado que representa o índice de consistência médio esperado em matrizes preenchidas aleatoriamente, conforme o número de critérios. A tabela 7 apresenta os valores definidos por Saaty:

**Tabela 7** Índices aleatórios

Número de critérios (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatório (RI)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (2005)

Com o Índice de Consistência (IC) e o Índice Aleatório (RI) calcula-se a Razão de Consistência (RC) por meio da Equação 5. Essa verificação é relevante quando se está lidando com muitas comparações e existe o risco de erro humano ou contradição implícita (Forman e Gass, 2001).

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (5)$$

Se RC for maior que 10% recomenda-se revisar os julgamentos, pois há uma inconsistência excessiva. E uma porcentagem abaixo desse valor significa que a consistência é considerada aceitável (Vargas, 2010).

Após verificada a consistência das comparações, é calculado o Valor Global da Alternativa (VGA), por meio da Equação 6. É a ordenação desses valores calculados para cada alternativa que fornece a classificação final desejada de atendimento ao objetivo (Meier; Mori, 2021). Para isso, os pesos relativos das alternativas em cada critério são multiplicados pelo peso do respectivo critério. Em seguida, soma-se o resultado de cada multiplicação para obter a pontuação total da alternativa.

$$VGA = \sum_{i=1}^x GA_i \cdot PG_i \text{ para } i = 1, \dots, x \quad (6)$$

onde:

VGA = valor global da alternativa

x = número de critérios

## 2 METODOLOGIA

De acordo com Marconi e Lakatos (2017), esta pesquisa adotou o método dedutivo, partindo de conceitos teóricos para, em seguida, analisar dados específicos relacionados ao objeto de estudo. O tipo de pesquisa foi quali-quantitativo, combinando a abordagem qualitativa, voltada à compreensão e interpretação dos fenômenos observados, com a abordagem quantitativa, que permitiu mensurar e comparar informações por meio de dados numéricos.

A presente pesquisa configura-se como de natureza aplicada o que se justifica pela necessidade de compreender e sistematizar dados relacionados à priorização de alternativas com base em múltiplos critérios previamente estabelecidos. Este trabalho visa contribuir com soluções práticas para o problema de decisão analisado.

Para a escolha dos mísseis que seriam avaliados foi tomado como referência a publicação de George (2025) no site do Instituto Internacional de Pesquisa para a Paz de Estocolmo (SIPRI), que apresenta os principais exportadores de armamentos no período de 2020 a 2024, foram identificados países com destaque no cenário internacional de Defesa. A partir da verificação da

atuação desses países no desenvolvimento e na exportação de sistemas de defesa antiaérea, foram selecionados seis mísseis representativos, cada um associado a uma dessas nações.

O universo da pesquisa compreende Oficiais de Infantaria da especialidade de Antiaérea, a amostra é não probabilística e foi definida por conveniência (Marconi; Lakatos, 2017), levando em consideração a acessibilidade dos participantes e a familiaridade destes com os critérios de avaliação propostos. Participaram do estudo 4 respondentes, os quais forneceram suas percepções por meio de um questionário estruturado elaborado especificamente para a pesquisa (Anexo A).

A coleta de dados foi realizada por meio de material teórico e questionário aplicado digitalmente, com estrutura dividida em três partes principais. A primeira parte consistiu na obtenção dos dados objetivos sobre os mísseis, coletados a partir de fontes disponíveis na Internet. Na segunda, os participantes do questionário B foram convidados a atribuir uma nota de 0 a 10 para cada critério de decisão, representando o grau de importância que atribuíam a cada um. Já na terceira parte, o questionário do Anexo A contemplou para os especialistas em Defesa Antiaérea a atribuição de notas aos tipos de critérios que os dados das alternativas não eram objetivos. Os critérios analisados nessa terceira parte foram: tipo de guiagem, tipo de ogiva e tipo de propulsão. Ainda nessa terceira parte o questionário do Anexo B foi respondido pelo especialista em Relações Internacionais acerca dos pesos das alternativas no critério da relação Brasil-fornecedor.

Alguns critérios exigiram uma abordagem metodológica adicional, pois não podiam ser analisados de forma puramente numérica sem contextualização especializada. O critério 1 (Relação Brasil-Fornecedor), por exemplo, foi avaliado com o apoio de um especialista em Relações Internacionais, a fim de garantir que a pontuação atribuída a esse aspecto correlacionasse corretamente cada alternativa.

Para o critério 4 referente ao tipo de guiagem, cada respondente atribuiu uma nota para a guiagem por radar ativo e outra para a guiagem por radar semi-ativo a fim de classificar os mísseis de acordo com a tecnologia empregada.

Abordagem semelhante foi adotada para o critério 5 relacionado à tecnologia de impacto. Desta vez as notas fornecidas foram em relação à utilização de explosivos ou emprego da tecnologia hit-to-kill.

O critério 6 que avalia o tipo de propulsão diz respeito ao número de estágios do motor-foguete. Assim, as notas avaliaram a vantagem na presença de estágio único ou duplo no míssil.

A análise de dados utilizou o método quantitativo por meio do AHP. Considerando-se que o AHP clássico exige que os participantes comparem os critérios dois a dois para calcular a matriz de julgamentos e realizar a verificação de consistência, optou-se nesta pesquisa por uma versão adaptada do método, denominada AHP holístico. Nessa versão, os pesos são extraídos diretamente das notas atribuídas aos critérios, o software AHPWizaRd avalia e fornece tanto a razão de consistência quanto a classificação das alternativas. Essa adaptação mantém a estrutura hierárquica proposta por Saaty, mas com um modelo de entrada de dados mais direto e simplificado (Godoi, 2014).

As entradas solicitadas pelo software são: as notas atribuídas a cada critério e o desempenho de cada alternativa não objetiva em relação a cada critério. A pontuação final de cada alternativa foi então obtida por meio da aplicação de uma soma ponderada, multiplicando-se os pesos de cada alternativa pelos pesos de seus respectivos critérios. Essa técnica, amplamente difundida em métodos multicritério, permite ranquear as alternativas com base no grau de aderência aos critérios estabelecidos, facilitando a tomada de decisão.

A escolha metodológica adotada permitiu ampliar a participação dos respondentes, minimizar ambiguidades e garantir maior viabilidade prática da pesquisa. O modelo híbrido adotado oferece, portanto, uma solução metodologicamente coerente com os objetivos do trabalho, preservando os fundamentos do AHP enquanto flexibiliza sua aplicação.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 SELEÇÃO DOS PRINCIPAIS MÍSSEIS DE DEFESA ANTIAÉREA DE MÉDIO ALCANCE**

A seleção dos mísseis de defesa antiaérea de médio alcance abordados neste trabalho considerou modelos desenvolvidos por países com reconhecida relevância tecnológica na área de defesa aérea. Ainda que não exista uma lista oficial ou consenso estabelecido sobre quais são os principais sistemas e nações líderes especificamente em defesa antiaérea, foi utilizado como referência a lista dos principais exportadores de armamentos presente no site do SIPRI para fundamentar essa escolha.

**Quadro 9** Relação das alternativas

<b>Missil</b>	<b>Origem</b>
PAC-3 MSE	Estados Unidos
Aster 30	França e Itália
Barak 8	Israel e Índia
HQ-16	China
9M96E	Rússia
IRIS-T SLM	Alemanha

Fonte: elaboração própria

### 3.2 SELEÇÃO DE CRITÉRIOS

A seleção dos critérios utilizados nesta pesquisa foi orientada com ênfase nos conteúdos relacionados à defesa antiaérea abordados no Curso de Oficiais de Infantaria. Durante a construção do modelo de comparação, critérios como custo de operação, logística e grau de interoperabilidade foram descartados por falta de dados verificáveis, considerando que essas informações são frequentemente classificadas ou mantidas sob sigilo por razões de segurança nacional. Assim, optou-se por critérios que permitem realizar uma comparação entre os mísseis analisados. A seleção final reflete, portanto, uma combinação entre o conhecimento técnico assimilado durante o CFOINF (Curso de Formação de Oficiais de Infantaria) e a viabilidade prática de obtenção de informações consistentes.

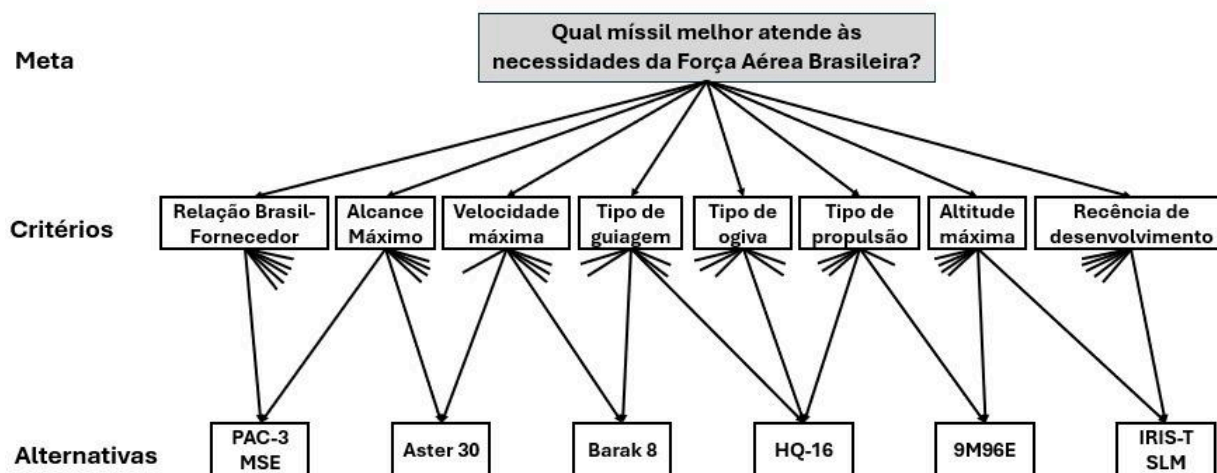
**Quadro 10** Relação dos critérios

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
C1	Relação Brasil-Fornecedor
C2	Alcance máximo
C3	Velocidade máxima
C4	Tipo de guiagem
C5	Tipo de ogiva
C6	Tipo de propulsão
C7	Altitude máxima
C8	Recência de desenvolvimento

Fonte: elaboração própria

### 3.3 CONSTRUÇÃO DA HIERARQUIA

Com o objetivo principal, as alternativas e os critérios definidos a hierarquia é construída e apresentada na Figura 2.

**Figura 2** Estrutura hierárquica

Fonte: Elaboração própria

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS PELO AHP

A partir da etapa de atribuição das pontuações pelos participantes, todas as operações matemáticas e análises subsequentes foram realizadas automaticamente por meio do software AHPWizaRd (Alcoforado;Longo, 2023) que tem como base o método de julgamento holístico de Godoi (2014).

Os resultados dos pesos dos critérios e a razão de consistência, calculados pelo software, a partir da análise do julgamento de cada especialista, estão apresentados na Tabelas 8.

**Tabela 8** Peso dos critérios

	<b>Especialista 1</b>	<b>Especialista 2</b>	<b>Especialista 3</b>	<b>Especialista 4</b>
C1 - Relação Brasil-Fornecedor	7,31%	18,1%	11,02%	21,92%
C2 - Alcance máximo	17,48%	18,1%	33,28%	12,18%
C3 - Velocidade máxima	1,28%	5,82%	7,65%	6,54%
C4 - Tipo de guiagem	17,48%	10,14%	3,91%	12,18%
C5 - Tipo de ogiva	17,48%	5,82%	2,76%	6,54%
C6 - Tipo de propulsão	4,01%	5,82%	2,03%	12,18%
C7 - Altitude máxima	17,48%	18,1%	23,3%	6,54%
C8 - Recência de desenvolvimento	17,48%	18,1%	16,05%	21,92%
Razão de consistência	2,2%	0,16%	3,61%	0,24%

Fonte: elaboração própria, com base na coleta de dados

A Tabela 9 apresenta as decisões individuais de cada especialista em relação às alternativas.

**Tabela 9** Avaliação das alternativas

<b>Alternativas</b>	<b>Especialista 1</b>	<b>Especialista 2</b>	<b>Especialista 3</b>	<b>Especialista 4</b>
A1 - PAC-3 MSE	22,26%	23,38%	24,37%	20,83%
A2 - Aster 30	19,58%	19,95%	26,28%	15,31%
A3 - Barak 8	15,08%	16,76%	12,40%	19,06%
A4 - HQ-16	12,28%	13,48%	10,00%	11,68%
A5 - 9M96E	13,63%	10,66%	11,44%	13,47%
A6 - IRIS-T SLM	17,17%	15,77%	15,5%	19,64%

Fonte: elaboração própria, com base na coleta de dados

### 3.5 CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Respeitando as opiniões individuais de cada especialista a classificação final é representada pela média aritmética dos graus individuais, esse resultado está representado na Tabela 10.

**Tabela 10** Classificação final

<b>Classificação</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Avaliação da alternativa</b>
1°	A1 - PAC-3 MSE	22,71%
2°	A2 - Aster 30	20,28%
3°	A6 - IRIS-T SLM	17,02%
4°	A3 - Barak 8	15,83%
5°	A5 - 9M96E	12,30%
6°	A4 - HQ-16	11,86%

Fonte: elaboração própria, com base na coleta de dados

O míssil PAC-3 MSE (Alternativa 1) obteve o maior escore agregado e, portanto, figura como a opção tecnicamente mais alinhada aos critérios estabelecidos. O que responde o problema de pesquisa e o define como a opção de míssil de médio alcance que melhor atende às necessidades operacionais da Força Aérea Brasileira dentre as opções avaliadas.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avançou significativamente na construção de um modelo de apoio à decisão para avaliação e comparação de sistemas de mísseis, com base em critérios técnicos e operacionais definidos a partir da revisão bibliográfica e da consulta a especialistas. Foram selecionados os mísseis e critérios utilizados na avaliação, o método multicritério AHP foi escolhido e aplicado, e por fim as alternativas disponíveis foram classificadas de acordo com o objetivo geral.

O problema de pesquisa voltado à identificação da alternativa de míssil mais adequada ao contexto brasileiro foi enfrentado com base em uma abordagem que alia dados objetivos de desempenho com percepções especializadas sobre a importância relativa de critérios subjetivos. Essa associação direta entre os objetivos do trabalho e os métodos empregados conferiu solidez à análise, permitindo que os resultados obtidos fossem não apenas quantitativamente fundamentados, mas também qualitativamente contextualizados.

A decisão de utilizar uma versão adaptada do AHP mostrou-se adequada por contribuir no processo de simplificar a atribuição de pesos sem comprometer a lógica multicritério. Essa escolha metodológica permitiu representar com fidelidade a hierarquia de preferências dos especialistas, mantendo os fundamentos do modelo proposto por Saaty, mas com flexibilidade prática adequada ao escopo do estudo.

O trabalho encontra-se metodologicamente consolidado e com os resultados orientados pelos objetivos propostos. A aplicação adaptada do método AHP demonstrou-se eficaz como instrumento de apoio à decisão em processos de aquisição militar. Com isso, espera-se que a pesquisa contribua para o campo dos estudos militares e estimule o uso de métodos multicritério em decisões complexas na área de Defesa.

## REFERÊNCIAS

- APRESENTANDO o HQ-16: Como a China desenvolveu o principal sistema de defesa aérea de médio alcance do mundo. **Military Watch Magazine**. Seul, 11 mai. 2021. Disponível em: <https://militarywatchmagazine.com/article/hq-16-a-look-at-the-capabilities-of-china-s-lethal-air-defense-system>. Acesso em: 29 mar. 2025
- ARMY RECOGNITION. IRIS-T SLM Medium-Range Air Defense Missile System – Germany. In: **Army Recognition**, 16 mar. 2025. Disponível em: <https://www.armyrecognition.com/military-products/army/air-defense-systems/air-defense-vehicles/iris-t-slm-medium-range-air-defense-missile-system-technical-data#details>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- ARAÚJO, Afrânio Galdino de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. **Gestão & produção**, v. 16, p. 534-543, 2009.
- ARULDOSS, Martin; LAKSHMI, T. Miranda; VENKATESAN, V. Prasanna. Um estudo sobre métodos de tomada de decisão multicritério e suas aplicações. **American Journal of Information Systems**, v. 1, n. 1, p. 31-43, 2013.
- BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2012.
- BRUNELLI, Matteo. **Introdução ao processo de hierarquia analítica**. Springer, 2015.
- CARRASSAI, Ronnie Giussani; MORI, Renata Belluzzo Zironi. Abordagem multicritério para a seleção de um novo fuzil para a Força Aérea Brasileira. **Revista Defesa e Segurança**, v. 7, n. 1, 2022.
- COSTA, H.G. **Introdução ao método de análise hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói, RJ, 2002.
- DA ROCHA, Ana Paula Rodrigues; DA SILVA, Suelen Aparecida Serratti; GODOI, Wagner Costa. Análise de portfólio de produtos pelo AHP - Um estudo de caso em uma doceria utilizando o método do julgamento holístico. **Revista de Gestão & Tecnologia**, v. 3, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.24279/jmgmt.v3i1.170>
- DA SILVA, Dayana et al. **Aplicação do método AHP no processo de seleção de fornecedores em uma empresa de Santa Catarina**. 2016.
- DE JESUS FRANÇA, Luciano Cavalcante et al. Abordagem AHP aplicada a decisões multicritério no mapeamento de fragilidade ambiental. **Floresta**, v. 50, n. 3, 2020.
- DYER, J S. **Maut — Teoria da Utilidade Multiatributo**. Em: Análise de Decisão com Múltiplos Critérios: Pesquisas de Estado da Arte. Série Internacional em Pesquisa Operacional e Ciência da Gestão, vol. 78. Springer, Nova York, 2005. DOI: 10.1007/0-387-23081-5\_7

FERREIRA, Rodrigo José Almeida. **A Bateria HIMAD do Grupo de Artilharia Antiaérea: a sua implementação no Exército Português**. 2023. Tese de Doutorado.

FORMAN, Ernest H.; GASS, Saul I. O processo de hierarquia analítica — uma exposição. **Pesquisa operacional**, v. 49, n. 4, p. 469-486, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2019.

GEORGE, Mathew et al. Trends in International Arms Transfers, 2024. **SIPRI Publications**, Solna. Disponível em:

<https://www.sipri.org/publications/2025/sipri-fact-sheets/trends-international-arms-transfers-2024>.

Acesso em: 14 abr. 2025.

GLOBAL Security. **HQ-16**. Disponível em:

<https://www.globalsecurity.org/military/world/china/hq-16.htm>. Acesso em: 10 abr. 2025.

GODOI, W. C. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP—Método do julgamento holístico. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 3, 2014. DOI: 10.3895/S1808-04482014000300001.

GOTKOWSKA, Justyna. **Rebuilding Germany’s air defence capabilities**: on the eve of crucial decisions. Varsóvia, n. 268, 17 mai. 2018. Disponível em:

<https://www.osw.waw.pl/pl/publikacje/komentarze-osw/2018-05-17/odbudowa-obrony-powietrznej-niemiec-w-przededniu-kluczowych>. Acesso em: 24 mar. 2025

GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; GARTNER, Ivan Ricardo. Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: Uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP).

**TRANSPORTES**, v. 6, n. 1, 1998.

GUEDES, Mauricio José Machado; KISCHINHEVSKY, M. O uso da simulação na avaliação operacional da defesa antiaérea de um navio de guerra. In: **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. 2006. Disponível

em: <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2009/artigos/56060.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2025.

HARMER, Christopher. The Strategic Impact of the S-300 in Iran. **Critical Threats Project**. 2016. Disponível em:

[https://www.aei.org/wp-content/uploads/2016/08/Harmer\\_Strategic-Impact-S-300-Iran.pdf](https://www.aei.org/wp-content/uploads/2016/08/Harmer_Strategic-Impact-S-300-Iran.pdf). Acesso

em: 20 abr. 2025.

ISRAEL Aerospace Industries. **Air Defense Systems**. Disponível em:

<https://www.iai.co.il/p/barak-mr> . Acesso em: 30 mar. 2025.

KOLMAN, Bernard; Hill, David R. **Introdução à Álgebra Linear com Aplicações**. Tradução Alessandra Bosquilha. Revisão Rafael José Iorio Júnior. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

KOPP, Carlo. Almaz-Antey 40N6/S-400 Triumpf/SA-21 SAM System. **Air Power Australia**, 2009.

KULIK, Tomasz. The Multi-Criteria Method for the Evaluation of Combat Capabilities of Surface to Air Missile Systems for the NAREW Program. **Safety & Defense**, Varsóvia, v. 7, n. 2, 19 out. 2021. DOI <https://doi.org/10.37105/sd.162>. Disponível em:

<https://sd-magazine.eu/index.php/sd/issue/view/13>. Acesso em: 24 mar. 2025

LINKOV, Igor; MOBERG, Emily. **Multi-criteria decision analysis: environmental applications and case studies**. CRC Press, 2011.

MAINHA, Ricardo. **Sistemas de Armas de Artilharia Antiaérea: Atualidade e Prospetiva**. 2013. Tese de Doutorado. Academia Militar. Direção de Ensino.

MANGRICH, Leonardo Venancio. **A defesa antiaérea de médio e longo alcance e a atual doutrina de emprego conjunto da Defesa Aeroespacial do Brasil (2003-2020)**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Altos Estudos em Defesa) - Escola Superior de Guerra, Brasília, 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **XLI SBPO**, v. 1, p. 49, 2009.

MBDA. **Ficha técnica da família ASTER**. Disponível em:

<https://www.mbda-systems.com/products/area-protection/aster-family/aster-30>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MELO, Peterson Souto. **Transporte de cargas para regiões remotas: uma análise das aeronaves disponíveis na Base Aérea de Manaus**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração e Ciências da Logística) - Academia da Força Aérea, Pirassununga, 2024.

MEIER, T. M.; MORI, R. B. Z. **Uma Abordagem Multicritério para o Problema de Localização da Comissão de Aeroportos da Região Amazônica**, Pirassununga-SP, 2021

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. DCA 1-1. Brasília, 2020. Disponível em:

<http://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/acervo/detalhe/7795> . Acesso em: 25 de set. 2024.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. **Manual de Defesa Antiaérea**. MCA 355-1. Brasília, 2017a. Disponível em:

<http://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/acervo/detalhe/2930> . Acesso em: 25 de set. 2024.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando do Exército. **Defesa Antiaérea**. EB70-MC-10.231.

Brasília, 2017b. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/1/636/3/EB70MC10231.pdf> . Acesso em: 25 de set. 2024.

NUNES, A. B. A. et al. Aplicação de metodologia de análise hierárquica (AHP) para priorização de intervenção em estações de tratamento de esgotos - Estudo de caso na Bacia do Siqueira, Fortaleza/CE. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n 225, p. 34-50, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.051>

PACHECO, Daniel Lucas Pereira de Assis. **Aplicação do método AHP na seleção de fornecedores de uma torrefação de café**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2020.

RAGHUVANSHI, Vivek. Empreendimento conjunto israelense e indiano para fabricar kits de mísseis para a arma Barak-8. **Defense News**. Arlington, 11 jul. 2019. Disponível em: <https://www.defensenews.com/global/asia-pacific/2019/07/11/joint-israeli-indian-venture-to-make-missiles-kits-for-barak-8-weapon/>. Acesso em: 29 mar. 2025.

RĂDULESCU, Marius; ŞANDRU, V. Uniformidade e padronização das armas de defesa aérea. **Conferência Internacional de Artigos Científicos**, AFASES . 2017. p. 195-200. DOI 10.19062/2247-3173.2017.19.1.21

ROY, Bernard. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Springer Science & Business Media, 1996.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, Thomas L. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. **RWS publications**, 1994.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SILVA, Carlos Eduardo José da; SALLES-NETO, Luiz Leduino de; SANTOS, Marcos dos. RANKING DE INSTRUTORES DE UMA ESCOLA DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA USANDO OS MÉTODOS AHP E TOPSIS. **Pesquisa Operacional** , v. 44, pág. e274249, 2024.

SILVA, Diva Martins Rosa e. **Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais**. 2007.

STUMPF, David K. **Os Últimos Trinta Segundos: Uma Breve História da Evolução da Tecnologia Hit-to-Kill** . University of Arkansas Press, 2024.

TECNO MILITAR. Sistema de Defesa Antiaérea e Antimísseis MIM-104 Patriot. **Tecno Militar**. [S. l.], 30 mai. 2024. Disponível em: <https://tecnomilitar.wordpress.com/2024/05/30/sistema-de-defesa-antiaerea-e-antimisseis-mim-104-patriot/#pac-3-mse>. Acesso em: 20 abr. 2025.

TEIXEIRA, Vinicius Modolo. S-300: a arma de negação da Geopolítica. **Revista de Geopolítica**, v. 11, n. 3, p. 11-27, 2020.

VARGAS, Luis G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, 1990.

VARGAS, Ricardo Viana; IPMA-B, P. M. P. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process-AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: **PMI Global Congress**. sn, 2010.

WIND, Yoram; SAATY, Thomas L. Marketing applications of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 26, n. 7, p. 641-658, 1980.

WOLFF, CRISTINA SANTOS. **O método AHP** - revisão conceitual e proposta de simplificação. 2008.

## ANEXO A – PESQUISA DE OPINIÃO - CRITÉRIOS

### Pesquisa de Opinião

Prezados, este questionário integra meu Trabalho de Conclusão de Curso, que tem como objetivo comparar os mísseis de defesa antiaérea de médio alcance utilizados por países com reconhecida capacidade nesse setor. As respostas coletadas serão fundamentais para o desenvolvimento do estudo e a finalização do artigo. Agradeço antecipadamente pelo tempo dedicado a esta contribuição.

\* Indica uma pergunta obrigatória

E-mail \*

Seu e-mail \_\_\_\_\_

Enunciado

Considerando sua experiência e conhecimento na área, atribua uma nota de 0 a 10 para cada critério a seguir, avaliando a importância relativa de cada um na escolha de um míssil antiaéreo de médio alcance. Quanto mais alto o valor atribuído mais relevante será o critério. Como esses dados possuem uma finalidade comparativa só atribua a mesma nota caso julgue realmente idênticas a importância das características em questão. Se possível, evite notas iguais.

Análise de critérios \*

	0	1	2	3	4	5	6	7
Relação Brasil-fornecedor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alcance Máximo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Velocidade Máxima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tipo de Guiagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ogiva (hit-to-kill ou quantidade de explosivo em kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tipo de propulsão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Altitude Máxima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Recência de Desenvolvimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>





Em relação ao Tipo de Propulsão qual você considera como uma melhor opção? \*

- Estágio Único - tem apenas um motor-foguete que é usado do início ao fim do voo.
- Dois estágios - dois motores separados que atuam em sequência, um no começo do voo e outro após o descarte do primeiro.

Atribua uma nota para cada Tipo de Propulsão \*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Estágio Único	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dois Estágios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



