

Modernização de Meia Vida de uma Aeronave de Caça da Força Aérea Brasileira: Uma Análise Multicritério

José Tadeu Medeiros do Vale¹, Thiago de Godoy Dias¹, Daniel Alberto Pamplona¹, Mischel Carmen Neyra Belderrain¹, Nissia Carvalho Rosa Bergiante²

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

²Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói/RJ – Brasil

Resumo – O presente artigo tem por objetivo propor um modelo multicritério para apoio à decisão do escopo de uma modernização de meia de vida de uma aeronave, por meio da geração de um ranking de sistemas prioritários a serem modernizados. Como estudo de caso, foi utilizada a aeronave A-29 da Força Aérea Brasileira. Para a estruturação do problema aplicou-se as abordagens VFT (*Value-focused Thinking*) e VFB (*Value-focused Brainstorming*), permitindo o delineamento dos objetivos fundamentais, objetivos meios e alternativas. Para o ranqueamento das alternativas foi utilizado o Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) em conjunto com o AIJ (*Aggregating Individual Judgements*). A partir da quantificação de valores, foi possível uma melhor comparação entre os diversos sistemas que poderão ser contemplados em uma futura modernização da aeronave. A análise de sensibilidade mostrou robustez no resultado do ranking estabelecido.

Palavras-Chave – Modernização, VFT, AHP.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço da guerra aérea moderna, a efetividade na realização de missões militares por sistemas aéreos está altamente dependente das capacidades operacionais disponíveis nos sistemas embarcados.

Inicialmente, todo sistema de armas nasce de uma necessidade para suprir uma carência operacional. Essa carência pode ser solucionada com a aquisição de um equipamento disponível no mercado ou pelo desenvolvimento de um novo equipamento [1].

Com o passar dos anos, devido a obsolescência tecnológica e eventuais problemas logísticos, os sistemas de armas podem apresentar problemas para cumprir as suas missões. O planejador militar se vê envolto com o problema de substituição do equipamento ou da possibilidade de uma modernização de meia vida (*Mid-Life upgrade*). Para [2], ciclo de vida é definido como “o exame dos sistemas abrangendo todas as fases da sua existência, incluindo desde a sua concepção e design, a sua produção ou construção, sua distribuição, sua operação, manutenção e apoio e, finalmente, sua eliminação”.¹

Um dos fatores principais para a necessidade de modernização deve-se ao fato que as fases de Concepção e Desenvolvimento de Tecnologia; Desenvolvimento do Sistema e Demonstração; e Produção e Entrega, geralmente, ocorrem num período de 5 a 15 anos. Assim, quando os

equipamentos são entregues aos usuários, algumas tecnologias embarcadas já se encontram obsoletas ou não possuem as tecnologias mais modernas disponíveis no mercado. Outro aspecto importante, é que um sistema bélico tem a sua vida operacional programada em uma Força Armada de 20 a 30 anos, período esse em que provavelmente ocorrerá o desgaste e desatualização de seus equipamentos [3].

A aeronave A-29 Super Tucano (EMB-314) foi concebida para missões de ataque leve e treinamento avançado, atendendo aos requisitos operacionais da Força Aérea Brasileira (FAB) para o treinamento inicial de pilotos de caça e apoio ao Projeto SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia). Seu desenvolvimento iniciou-se na década de 1990, sendo que o primeiro voo ocorreu em 1999. As primeiras aeronaves foram entregues à Força Aérea Brasileira (FAB) em 2004, com a expectativa de uma vida útil, dentro do ciclo de vida, de 30 anos. A frota de A-29 operando na FAB é composta de 90 aeronaves.

No ano de 2017, a aeronave A-29 completou 13 anos do início de sua operação na FAB, apresentando situação de obsolescência logística em alguns itens que a equipam, bem como restrições operacionais relacionadas a alguns sistemas.

Com isso, somando-se as limitações dos recursos financeiros, mostra-se necessário priorizar os sistemas que poderão ser englobados em uma possível modernização, objetivando utilizar o recurso disponível da melhor forma possível.

Neste contexto, o objetivo do presente artigo é propor um modelo decisório multicritério para a geração de um ranking dos sistemas prioritários a serem modernizados, do ponto de vista operacional, com vistas a formarem o escopo de um processo de modernização de meia vida.

Este artigo está estruturado em seis seções, além desta introdutória. A segunda seção apresenta a revisão de literatura, conceito de modernização de meia vida, os métodos VFT, VFB e AHP. A terceira seção apresenta a estrutura para a solução do problema. A seção quatro apresenta a estruturação do problema através do VFT. A seção cinco apresenta o ranking das alternativas com o método AHP. Finalmente, as conclusões do estudo são apresentadas, bem como as referências.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

José Tadeu Medeiros do Vale, tadeuvale@hotmail.com; Thiago de Godoy Dias, thiago_dias@email.com; Daniel Alberto Pamplona, pamplonadefesa@hotmail.com; Mischel Carmen Neyra Belderrain, carmen@ita.br; Nissia Carvalho Rosa Bergiante, nissiabergiante@id.uff.br.

A. O Processo de Modernização de Meia Vida

O processo de modernização de uma aeronave é uma tarefa complexa, que envolve de um lado, a adequação das necessidades de uma força armada, que busca através da utilização de determinado sistema, a projeção do seu poder militar e de outro existe a constante pressão por corte de custos nos meios de defesa, devido os formadores de opinião, muitas das vezes desacreditarem na necessidade da manutenção do poderio bélico em países que não se encontram em combate.

Uma característica comum aos sistemas de engenharia complexos é a necessidade de uma coordenação multidisciplinar para permitir o bom funcionamento do sistema de engenharia. Dentro deste conceito, uma aeronave deve ser considerada um sistema de engenharia complexo, que demanda o desenvolvimento de um conjunto de conhecimentos distintos e que inclui: (a) Definição de requisitos, projeto, desenvolvimento, validação e testes, durante as fases de aquisição; e (b) Suporte a operações em andamento, Modernização de Meia Vida (*Mid-Life Upgrade*), serviços e logística, manutenção e reparos, durante a fase de operações [4].

Conceitualmente, define-se Modernização de Meia Vida, em um contexto de defesa, como uma modificação do projeto original objetivando a extensão da utilidade e/ou capacidade de um sistema de armas. A modificação tem como objetivo principal estender o ciclo de vida de equipamentos já empregados pelas tripulações, Fig. 1, diminuindo também os custos com treinamento e adequação de instalações [5].

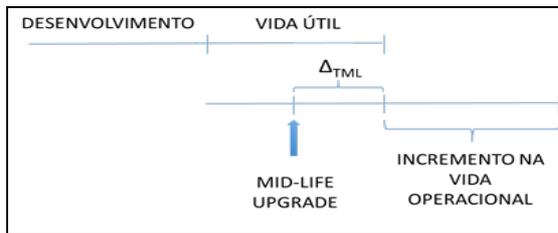


Fig. 1. O *Mid-Life Upgrade* e o incremento na vida operacional.
 Fonte: Os autores

O cenário do mercado aeronáutico, mais especificamente do mercado de defesa, apresenta elevados custos e *lead time* (período entre o início de uma atividade, produtiva ou não, e o seu término) para o desenvolvimento de novas plataformas para aplicações militares. Este contexto, associado à necessidade de máximo aproveitamento dos recursos financeiros, dá importância a estratégias que possam diminuir os impactos dos custos e *lead time*, sem comprometer as capacidades operacionais das Forças Armadas.

B. Value Focused Thinking (VFT) e Value Focused Brainstorming (VFB)

[6] indica uma abordagem *Value Focused Thinking* (VFT) para possibilitar o estímulo aos decisores por meio dos objetivos fundamentais, dos meios para atingi-los, de alternativas criadas e da combinação de diversas opiniões.

Os valores, de acordo com [6], são princípios para avaliar o quanto cada possível alternativa ou consequência é desejável, devendo representar as forças fundamentais no processo decisório. Quando as pessoas, são obrigadas a decidirem um problema complexo, geralmente elas começam pensando a respeito das alternativas, que representa os meios pelo quais se pretende atingir um objetivo. Isto pode levar o tomador de decisão a não explorar amplamente toda a gama de possíveis soluções, haja vista tratar-se de uma forma reativa de se abordar o problema. Para evitar esta ação reativa, deve-se focar inicialmente nos valores, para depois pensar nas alternativas, aumentando o controle decisório. O processo de identificação de valores começa com a identificação dos objetivos [7].

O processo de identificação dos objetivos é crucial para a resolução de um problema. Sua identificação fornece uma melhor visão do contexto decisório para uma melhor tomada de decisão. Os objetivos estão ligados aos interesses a serem atingidos e o conhecimento da situação e a maneira mais óbvia para a sua identificação se dá através da discussão da situação [6].

[6] complementa que *brainstorming* pode ser uma técnica útil para criar alternativas em decisões complexas. Para melhorar a qualidade e inovação das alternativas criadas, pode-se utilizar o *Value Focused Brainstorming* (VFB). O VFB utiliza características do VFT utilizando procedimentos de um *brainstorming* tradicional. Ele ainda sugere, inicialmente, que cada participante crie alternativas individualmente, antes de qualquer discussão em grupos, para posteriormente sofrerem um processo de agregação.

C. O método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Como avaliar critérios que na maioria das vezes são intangíveis ou de difícil mensuração? O processo decisório envolve, na maioria das vezes, a avaliação e comparação destes fatores. O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) surge como um método para a medição da comparação par a par de critérios e que através do julgamento de especialistas, resulta na proposta de uma escala de prioridades [8].

Para computar os julgamentos dos especialistas no AHP, [9] sugerem a abordagem AIJ (*Aggregating Individual Judgements*) quando indivíduos do grupo decisor agem de modo que o grupo se torne um novo indivíduo, existindo uma sinergia na agregação de julgamentos individuais, de tal sorte que as identidades individuais são perdidas no processo, assim como suas prioridades [10]. O consenso do grupo pode ser representado com a média geométrica ponderada dos julgamentos individuais.

Ainda, de acordo com [11], a modelagem de problemas decisórios multicritério apresenta três problemáticas de decisão, entre outras: escolha, ordenação e classificação. Este estudo trata de um problema de ranqueamento de sistemas, sendo, portanto, uma problemática do tipo ordenação.

Para [8], dentro do processo de funcionamento da mente humana, quando o número de elementos decisórios é grande, ocorre um agregamento de informações em grupos, segundo propriedades comuns. Nesta linha, o autor desenvolveu uma escala para comparação par a par dos elementos. A escala vai

de 1 a 9, onde 1 significa a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significa a extrema importância de um critério sobre outro. A escala de Saaty é a base para o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

O *software Super Decisions* implementa o método AHP para tomada de decisão através do uso da teoria desenvolvida por Thomas L. Saaty. De acordo com [12], o processo de uso do *software* envolve: 1) Quebrar o problema em seus elementos de decisão (critérios e sub-critérios); 2) Arranjá-los em uma estrutura hierárquica; 3) Realizar os julgamentos dos elementos, par a par, através do uso da escala de Saaty; 4) Sintetizar os resultados e 5) Conduzir as análises de sensibilidade.

D. O Conceito de Capacidade pela FAB

A FAB entende que toda análise futura de equipamentos, meios e cenários, deve pautar-se no conceito de capacidades para atingir a excelência operacional. Ela é definida como sendo a “habilidade de que o País deve dispor para preservar os interesses nacionais e com as atribuições de defesa do território, das águas jurisdicionais, da plataforma continental, do espaço aéreo brasileiro e do espaço exterior, por intermédio de Forças devidamente motivadas, treinadas, equipadas e com o apoio necessário para cumprir toda a gama de ações militares” [13].

A FAB elenca as seguintes capacidades: (a) Projeção Estratégica: capacidade militar de levar o poder aéreo e espacial a qualquer área de interesse no território nacional e no entorno estratégico, no momento oportuno e na dimensão adequada; (b) Superioridade nos ambientes aéreo e espacial: capacidade de controlar porções específicas dos ambientes aéreo e espacial de interesse, por períodos de tempo limitados, de modo a garantir a soberania, o patrimônio nacional e a integridade territorial, e ainda para assegurar as operações militares das forças de superfície; (c) Comando e Controle: capacidade que proporciona aos Comandantes, nos níveis estratégico, operacional e tático, o exercício da autoridade e do controle sobre organizações ou forças ao seu dispor para o cumprimento da missão atribuída; (d) Superioridade de informações: habilidade para coletar, processar, armazenar, disseminar, produzir e proteger dados de interesse do ambiente operacional, no momento oportuno e no formato adequado e, paralelamente, negar ao adversário a possibilidade de fazer o mesmo, proporcionando segurança e liberdade de ação às operações militares; (e) Sustentação Logística: capacidade de prever, prover e manter recursos e serviços necessários ao preparo e ao emprego da Força Aérea, direta ou indiretamente, em qualquer área de interesse no território nacional e no entorno estratégico, no momento oportuno e na dimensão adequada. Envolve as atividades de Engenharia, Manutenção, Recursos Humanos, Salvamento, Saúde, Suprimento, Transporte e Finanças; (f) Proteção da Força: capacidade voltada para garantir a segurança do pessoal, do material, das instalações, das informações e das comunicações em apoio as atividades de emprego, preservando o poder de combate dos Meios de Força Aérea; (g) Interoperabilidade: capacidade de operar de maneira integrada, coordenada e harmônica com outras Forças Armadas e agências governamentais, como

também em operações conjuntas ou multinacionais, para o cumprimento da missão atribuída.

Para definir quais serão as capacidades que se relacionam com a aeronave, definiu-se quais serão as ações de emprego da aeronave preconizadas na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1), que tem como objetivo fixar princípios e conceitos para orientar o preparo e o emprego da FAB [14].

A doutrina define como Ação de Força Aérea o “ato de empregar, no nível tático, Meios de Força Aérea para causar um ou mais efeitos desejados em uma campanha ou operação militar”. Sua execução se dá por uma combinação de meios, a citar: pessoal, aeronaves, plataformas espaciais, veículos terrestres, embarcações, armamentos, instalações, equipamentos e sistemas. Todos utilizados conforme as necessidades operacionais e com o objetivo de alcançar os efeitos desejados [14]. A Tabela I mostra as principais ações de Força Aérea que podem ser realizadas pela aeronave A-29.

TABELA I. PRINCIPAIS AÇÕES DE FORÇA AÉREA REALIZADA PELO A-29

Ação	Definição
Apoio Aéreo Aproximado	Detectar, identificar e neutralizar ou destruir forças de superfície inimigas que estejam em contato direto com forças de superfície amigas.
Ataque	Neutralizar ou destruir alvos inimigos, previamente localizados e identificados.
Controle Aéreo Avançado	Coordenar, a partir do ar, o ataque de aeronaves contra alvos inimigos.
Defesa Aérea	Detectar, identificar e neutralizar ou destruir vetores aéreos inimigos que ameacem forças amigas e áreas de interesse.
Escolta	Detectar, identificar, neutralizar ou destruir vetores aéreos inimigos e forças de superfície oponentes que ameacem aeronaves amigas em voo.
Reconhecimento Aéreo	Coletar dados específicos sobre forças inimigas e áreas de interesse.
Reconhecimento Armado	Detectar, identificar e neutralizar ou destruir alvos inimigos em uma área ou rota previamente selecionada.
Demonstração Aérea	Difundir a imagem da FAB para os públicos interno e externo.
Instrução Aérea	Formar ou adestrar tripulantes para o cumprimento das diversas Ações de Força Aérea.

Fonte: [14]

O conceito de capacidades é um conceito amplo e, por isso, não será possível que todas as capacidades sejam englobadas na modernização de um sistema de armas. Por essa razão, o VFB auxiliará no delineamento de quais capacidades/valores serão abordados na modernização, através da agregação das opiniões de especialistas.

III. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para facilitar o entendimento, o trabalho foi desenvolvido seguindo-se os passos apresentados a seguir:

Estruturação do problema através do VFT

- 1) Identificação dos *stakeholders*;
- 2) Identificação, Agregação e Hierarquização dos Objetivos (VFT/VFB);
- 3) Identificação das Alternativas (VFB);

Ranking das alternativas com o método AHP

- 4) Definição da Estrutura Hierárquica; e

5) *Ranking* das Alternativas (AHP)

IV. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA ATRAVÉS DO VFT

Para a estruturação do presente problema optou-se pela utilização da abordagem VFT para a formulação dos valores, objetivos meios, objetivos fins e alternativas a serem atingidos na modernização de meia vida do A-29.

A. *Identificação dos stakeholders*

A identificação dos *stakeholders* buscou mapear os indivíduos ou grupos de indivíduos que poderiam influenciar e serem influenciados pela modernização da aeronave A-29. A FAB está atualmente estruturada em *clusters* conforme a missão primária realizada. Na área operacional, seriam afetados pela modernização o Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE) que é o órgão responsável por realizar a defesa aeroespacial do território nacional; e o Comando de Preparo (COMPREP) responsável pelo preparo para o emprego dos meios de Força Aérea. Na área logística, será afetado o Comando-Geral de Apoio (COMGAP), órgão responsável pela coordenação logística da Força. Na área de direção estratégica, será afetado o Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER), cuja principal função é o planejamento estratégico da Força.

Outros *stakeholders* fazem parte da indústria de defesa, incluindo a fabricante da aeronave.

Neste artigo, buscou-se a abordagem do ponto de vista operacional, de modo que não foram avaliados os interesses da indústria.

Ainda, os interesses dos *stakeholders* que fazem parte da estrutura organizacional da FAB foram considerados como alinhados com o Planejamento Estratégico da FAB, no que se refere ao Planejamento dentro do conceito de Capacidades.

B. *Identificação, Agregação e Hierarquização dos Objetivos*

De acordo com [6], os objetivos de uma decisão podem ser divididos em fundamentais e meios. Os objetivos fundamentais são aqueles que representam os fins que os decisores valorizam em um contexto de decisão, enquanto os objetivos meios são formas de alcançar esses fins.

Para a definição dos objetivos a serem atingidos, optou-se por realizar uma lista de desejos (*Wish List*), conforme proposto por [6].

Para elaboração da lista de desejos, questionou-se três especialistas acerca de quais os objetivos operacionais, seriam necessários ao A-29, para cumprir as Ações de Força Aérea da maneira mais eficiente até a sua desativação do inventário da FAB. Essa lista foi construída de maneira qualitativa sem a necessidade de ranqueamento.

Em seguida, conforme proposto por [6], foi realizado o mapeamento dos objetivos fundamentais e dos objetivos meios. Para isso, foi solicitado a cada membro que respondesse o porquê que aquele objetivo era importante. Quando não fosse mais possível responder, aquele objetivo seria considerado um objetivo fundamental e os demais objetivos meios.

Por fim, os objetivos (fundamentais e meios) de cada participante foram agregados através do uso da abordagem VFB. A hierarquia dos objetivos segue apresentada na Tabela II. Esta hierarquia refere-se apenas às relações entre objetivos fundamentais e meios, não significando existir hierarquia dentre os objetivos fundamentais, ou dentre os objetivos meios.

TABELA II. HIERARQUIA DOS OBJETIVOS

1.	Maximizar a capacidade de Emprego
1.1.	Maximizar o pronto-emprego da aeronave
1.2.	Maximizar a operação a qualquer tempo
1.3.	Minimizar as restrições de pouso e decolagem
1.4.	Maximizar as localidades de operação
2.	Maximizar a projeção da Força
2.1.	Maximizar a quantidade de cenários de emprego da aeronave
2.2.	Maximizar a quantidade de armamentos compatíveis com a aeronave
3.	Maximizar a sustentação logística
3.1.	Maximizar a disponibilidade das aeronaves
3.2.	Maximizar a quantidade de aeronaves com possibilidade de voo
3.3.	Minimizar a quantidade de falhas nos sistemas da aeronave
3.4.	Maximizar a confiabilidade nos sistemas da aeronave
4.	Maximizar a interoperabilidade da aeronave com outras Forças
4.1.	Maximizar a quantidade de cenários de emprego da aeronave
5.	Maximizar o comando e controle
5.1.	Maximizar a confiabilidade das comunicações

Com os objetivos fundamentais definidos, o próximo passo foi a identificação das alternativas para o problema de modernização de meia vida.

C. *Identificação das Alternativas*

Nesta etapa foram definidos os sistemas que deverão ser abordados em uma modernização de meia vida do A-29.

Para a seleção das alternativas os três especialistas foram questionados sobre os sistemas da aeronave que contribuem para atingir os objetivos fundamentais elencados nas Tabela II. A correspondência entre os objetivos e os sistemas considerados com alternativas foi definida pelos especialistas tendo como base as documentações técnicas da aeronave.

As respostas dos especialistas foram agregadas utilizando-se a abordagem VFB, de modo que os seguintes sistemas foram selecionados para formarem um escopo de modernização de meia vida da aeronave: a) Sistema Hidráulico; b) Sistema de Autodefesa; c) Sistema de Comunicação; d) Sistema de Navegação; e e) Sistema de Comunicação.

V. RANKING DAS ALTERNATIVAS COM O MÉTODO AHP

O método AHP baseia-se em três princípios: estruturação do modelo; julgamento de comparações, par a par, entre as alternativas e os critérios; e a síntese das prioridades [8]. O problema foi estruturado com a utilização das abordagens VFT e VFB. Os critérios utilizados no AHP são as Ações de Força Aérea que o A-29 irá cumprir (Tabela I) e os subcritérios as

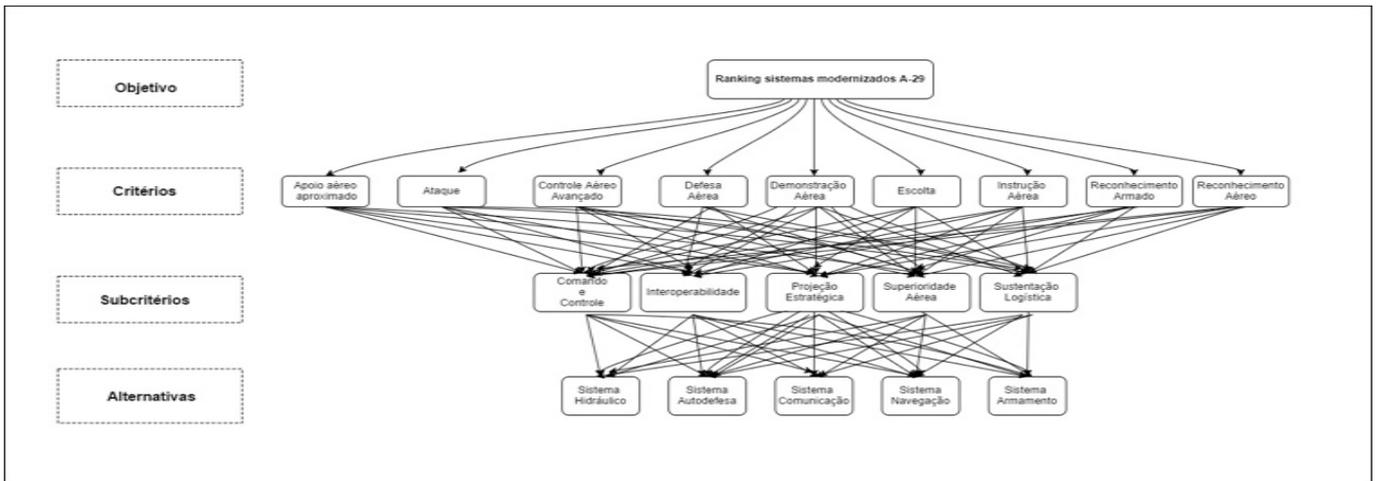


Fig. 2. Estrutura Hierárquica do Problema de Decisão de Modernização.

capacidades que serão atingidas com o melhor funcionamento da aeronave. A seleção desses critérios e sub-critérios objetivou criar uma estrutura hierárquica, conforme mostra a Fig. 2, que represente a tomada de decisão dentro do ponto de vista operacional, atendendo às perspectivas de capacidades da FAB. As alternativas são compostas pelos sistemas definidos pelos especialistas para modernização.

O cálculo dos pesos atribuídos aos critérios, pelo AHP, foi realizado através do uso do *software Super Decisions*, 2017, tendo sido solicitado aos especialistas, que realizassem, individualmente, a comparação par a par dos critérios, utilizando a escala de Saaty. Para agregação dos resultados individuais utilizou-se a abordagem AIJ, computando-se a média geométrica dos valores como critério consensual. O peso atribuído para cada especialista foi igual, haja vista que possuem níveis de experiência semelhantes.

As Tabela III e a Tabela IV mostram os resultados apresentados pelo *Super Decisions* para os pesos dos critérios e subcritérios, com a respectiva inconsistência da agregação AIJ dos julgamentos realizados pelos especialistas.

TABELA III. PESO DOS CRITÉRIOS OBTIDOS PELO AHP

Critério	Peso	Inconsistência	Ordem
Apoio Aéreo Aproximado	0,1596	0,01754	3
Ataque	0,1836		2
Controle Aéreo Avançado	0,0552		8
Defesa Aérea	0,2211		1
Demonstração Aérea	0,0335		9
Escorta	0,0735		7
Instrução Aérea	0,0932		5
Reconhecimento Armado	0,1019		4
Reconhecimento Aéreo	0,0781		6

TABELA IV. PESO DOS SUBCRITÉRIOS OBTIDOS PELO AHP

Critério	Peso	Inconsistência	Ordem
Comando e Controle	0,2666	0,00481	1
Interoperabilidade	0,1675		4
Projeção Estratégica	0,1917		3
Superioridade Aérea	0,1673		5
Sustentação Logística	0,2067		2

Os critérios Defesa Aérea, Ataque e Apoio Aéreo Aproximado ocuparam as principais posições no ranking, apontando para o fato, que na visão dos especialistas, as ações ligadas à capacidade de Projeção Estratégica e Superioridade Aérea foram as mais importantes.

A Tabela V mostra o ranking final dos sistemas para a modernização da aeronave A-29, conforme *output* do *software Super Decisions*.

TABELA V. RANKING DOS SISTEMAS DA AERONAVE PARA MODERNIZAÇÃO

Alternativa	Ranking	Normal	Ideal
Sistema Hidráulico	5	0,1346	0,5144
Sistema de Autodefesa	3	0,2024	0,7739
Sistema de Comunicação	1	0,2616	1,000
Sistema de Navegação	4	0,1925	0,7360
Sistema de Armamento	2	0,2086	0,7674

A coluna Normal, Tabela V, mostra os resultados após a aplicação do Método AHP. Na coluna Ideal, a alternativa melhor colocada recebe o valor 1 e as demais colunas são calculadas em relação ao valor da primeira colocada nas alternativas. Dessa maneira, é possível fazer uma comparação entre alternativas.

Como resultado, verificamos que o ranking dos sistemas prioritários para a geração do escopo de modernização de meia vida, na visão dos especialistas é: 1. Sistema de Comunicação, 2. Sistema de Armamento, 3. Sistema de Autodefesa, 4. Sistema de Navegação, e 5. Sistema Hidráulico.

Da análise do resultado de *ranking* encontrado é interessante observar a diferença de importância entre os sistemas de comunicação e navegação. O peso atribuído ao sistema de comunicação foi 1,36 vezes maior que o peso atribuído ao sistema de navegação, embora tenham características semelhantes do ponto de vista operacional. Essa grande diferença de importância não era esperada.

Da mesma forma, a proximidade entre os pesos atribuídos aos sistemas de armamento e autodefesa, da ordem de 3%, era

esperado, haja vista as características semelhantes do ponto de vista operacional.

Neste ponto, é interessante observar a partir dos dados da Tabela IV, que os pesos atribuídos aos subcritérios Interoperabilidade e Superioridade Aérea ficaram muito próximos, com uma diferença percentual relativa de 0,2%. Essa proximidade torna importante comparar o comportamento das escolhas (alternativas), em relação à variação de peso dados a esses subcritérios pelos apoiadores da tomada de decisão (especialistas). Os gráficos de análise de sensibilidade a esses subcritérios estão apresentados nas Fig. 3 e Fig. 4, apresentadas a seguir.

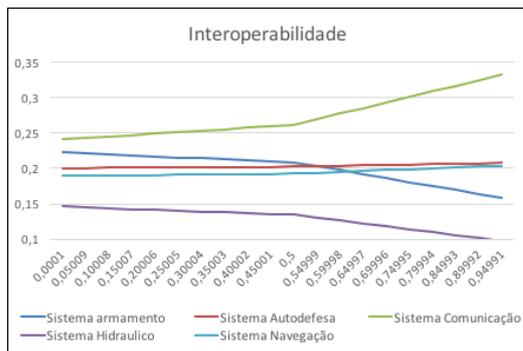


Fig. 3. Análise de Sensibilidade quanto ao subcritério Interoperabilidade.

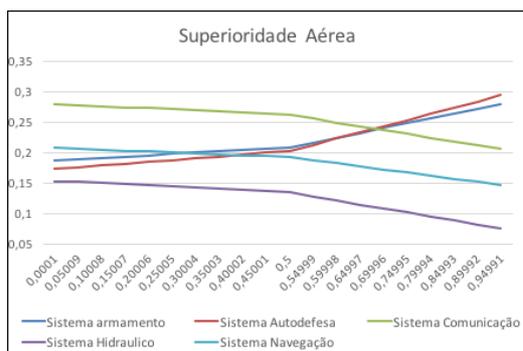


Fig. 4. Análise de Sensibilidade quanto ao subcritério Superioridade Aérea

Da análise dos gráficos das Fig. 3 e Fig. 4, observamos que os primeiros pontos de inversão de ranking das alternativas ocorreram nos pesos 0,549, para o subcritério Interoperabilidade, e 0,300, para o subcritério Superioridade Aérea, o que representam uma variação percentual relativa de 127% e 79%, nesta sequência, em relação aos pesos atribuídos pelos especialistas.

Ainda, a análise de sensibilidade para os demais critérios e subcritérios, mostraram a necessidade de grandes variações relativas para a inversão de ranking, demonstrando boa robustez do método AHP com AIJ na problemática de ranqueamento de sistemas para modernização de meia vida.

VI. CONCLUSÕES

O presente artigo teve por objetivo propor um modelo decisório multicritério para a geração de um ranking dos sistemas prioritários a serem modernizados, com vistas a formarem o escopo do processo de modernização de meia

vida. Como estudo de caso, foi utilizada a aeronave A-29 da Força Aérea Brasileira.

A modernização de meia vida surge como uma opção para manter atualizados tecnologicamente os sistemas embarcados e por conseguinte manter a capacidade de cumprir as missões propostas.

O artigo utilizou as abordagens VFT e VFB para a estruturação do problema, permitindo o estímulo aos decisores no delineamento dos objetivos fundamentais, objetivos meios e alternativas. Através da utilização do VFB, foi possível combinar técnicas de *brainstorming* e contar com a opinião de três especialistas sobre o assunto.

Para o ranqueamento das alternativas foi utilizado o Método AHP/AIJ, que mostrou ser robusto para a resolução de um problema multicritério na área de Defesa. Ao permitir a quantificação de valores, foi possível uma melhor comparação entre os diversos sistemas que poderão ser contemplados em uma futura modernização da aeronave.

A utilização de vários especialistas permitiu diminuir as parcialidades e possíveis vieses de julgamento. Apesar de o método ter sido utilizado para o ranking de sistemas bélicos, ele pode ser utilizado em vários problemas na área de Defesa que exijam ranqueamento de importância devido a restrições financeiras. Futuras pesquisas poderão explorar esses problemas.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Thomas, E. Jansen, S. Hocevar, and R. Rendon, "Field Validation of Collaborative Capacity Audit as Applied to Inter-agency Work in Acquisition," NPS-Technical Report-08-010 Naval Postgraduate School. Monterey, CA2008.
- [2] B. S. Blanchard and W. J. Fabrycky, *Systems engineering and analysis*, New York, NY: Wiley, 2006.
- [3] Department of Defense, "Systems engineering fundamentals," ed. USA, 2001.
- [4] J. P. Mo and A. Sinha, *Engineering systems acquisition and support*: Elsevier, 2014.
- [5] R. A. Pyles, "Aging aircraft," *RAND Organization*, 1999.
- [6] R. L. Keeney, *Value-focused thinking: A path to creative decisionmaking*: Harvard University Press, 1992.
- [7] R. L. Keeney, "Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives," *European Journal of operational research*, vol. 92, pp. 537-549, 1996.
- [8] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *International journal of services sciences*, vol. 1, pp. 83-98, 2008.
- [9] E. Forman and K. Peniwati, "Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process," *European journal of operational research*, vol. 108, pp. 165-169, 1998.
- [10] T. C. da Costa and M. C. N. Belderrain, "Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão," presented at the XV ENCITA, São José dos Campos, 2009.
- [11] B. Roy, *Méthodologie multicritère d' aide à la décision*: Economica, 1985.
- [12] W. J. Adams and R. Saaty, "Super Decisions Software Guide," *Super Decisions*, vol. 9, 2003.
- [13] BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA, "DCA 11-45 Concepção Estratégica Força Aérea 100," ed, 2016.
- [14] BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA, "DCA 1-1 DOCTRINA BÁSICA DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA," ed, 2012.