

APLICAÇÃO DE MODELO PARAMÉTRICO DE ESTIMATIVA PARA O CUSTO LOGÍSTICO DA HORA DE VOO DO GRIPEN NG

APPLICATION OF PARAMETRIC ESTIMATION MODEL FOR LOGISTIC COST PER FLIGHT HOUR OF GRIPEN NG

Erick Antonio Silva¹
Antonio de Biaso Junior²
Jardel Figueira da Silva³

RESUMO

As frequentes restrições orçamentárias em diversas Forças Aéreas representam um fator primordial para o dimensionamento dos recursos destinados à operação de suas aeronaves. Nesse sentido, a Força Aérea Brasileira (FAB) tem um grande desafio em equacionar os custos da entrada em operação das novas 36 aeronaves de caça GRIPEN E/F, frente ao contingenciamento orçamentário dos recursos governamentais. Uma das principais métricas de levantamento dos custos de operação e suporte de aeronaves, empregadas ao redor do mundo, é o Custo Logístico por Hora de Voo (CLHV). Considerando essa premissa, este trabalho trata da estimativa do CLHV do GRIPEN E/F, em fase de aquisição pela FAB. Tal abordagem se justifica em virtude dos custos de operação da aeronave, ainda em desenvolvimento, serem uma incógnita, o que impacta diretamente no planejamento orçamentário do suporte logístico anual da Força. O objetivo deste estudo é estimar, com relevante nível de confiança, o valor do CLHV da nova aeronave. Este intento foi conseguido através da criação de um modelo paramétrico comparativo o qual foi construído se baseando na revisão bibliográfica dos parâmetros técnicos e dos custos relacionados à operação de uma aeronave. Para a estimativa dos coeficientes das variáveis do modelo foram considerados dados técnicos da aeronave GRIPEN versão C/D, das aeronaves de caça da FAB e das demais aeronaves com propulsão a jato da frota da FAB e seus respectivos CLHV. Validadas estatisticamente 8 variáveis do modelo de regressão, foi possível estabelecer o valor do CLHV do GRIPEN E/F, a partir de suas principais características.

Palavras-chave: Modelo Paramétrico. Custo Logístico da Hora de Voo. GRIPEN.

ABSTRACT

¹ Pós-graduando em Logística Empresarial pelo Grupo Unis de Varginha/MG; graduado em Mecânica-Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. E-mail: tenerick@gmail.com.

² Tenente da Marinha do Brasil e oficial de Marinha Mercante; mestre em logística pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, profissional da área de logística portuária e transporte marítimo e professor convidado pela pós-graduação do Grupo Unis de Varginha/MG. E-mail: abiaso@hotmail.com

³ Graduado em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2003); mestre em Ciências e Tecnologias Espaciais pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2018); atualmente é consultor do Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA), atuando principalmente nos seguintes temas: confiabilidade, programa de manutenção e logística. E-mail: jardeljfs@fab.mil.br

In many Air Forces, the frequent budget constraints represent a major factor in estimating the resources that will be allocated to the operation of their aircraft. Therefore, considering the budgetary contingency of government resources, the Brazilian Air Force (FAB) has a major challenge in evaluating the costs of the operation of the 36 units of the new aircraft GRIPEN E/F fighter. One of the key metrics used to compute the aircraft operating and support costs around the world is the Logistic Cost per Flight Hour (CPFH). Based upon this CPFH premise, this study aims to estimate of GRIPEN 's CPFH, while its acquisition process by the FAB. As the aircraft is still under development, its operating costs are unknown, but still directly impact the budget planning of the annual logistics support of the FAB, so the the CPFH approach is justified. The objective of this study is to estimate, the value CPFH of the new aircraft. This intention was achieved by using a comparative parametric model which was created based upon a literature review of the technical parameters and general aircraft operation related costs. Technical data and CPFH of the GRIPEN version C/D aircraft, of the FAB fighter aircraft, and of the FAB fleet jet aircraft, were considered to estimate the coefficients of the variables in the model. As the 8 variables have been statistically validated in the regression model, it was possible to estimate the GRIPEN E/F CPFH value based on the aircraft main characteristics.

Keywords: Parametric Model. Cost per Flight Hour. GRIPEN

1 INTRODUÇÃO

O cumprimento da missão precípua da Força Aérea Brasileira (FAB) é alcançado em virtude do empenho do Comando da Aeronáutica (COMAER) em manter disponíveis diversas aeronaves, com capacidades múltiplas de emprego. Tal diversidade permite a realização desde a garantia da soberania do espaço aéreo até ajuda humanitária, ações cívico-sociais, transporte de pessoas e suprimentos, transporte de órgãos e de urnas eleitorais, evacuações aeromédicas, entre outras ações de integração de todo o território nacional. Arquitetar o sustento destas tarefas de forma a controlar, defender e integrar o país, com vistas à garantia dos direitos fundamentais à população demanda uma complexa e dispendiosa gestão logística. Dentre os variados ramos da logística, as atividades de manutenção e de operação dos sistemas perfazem a maior parcela dos recursos destinados à garantia da disponibilidade das aeronaves.

Estimar os custos envolvidos no desdobramento deste esforço aéreo é uma tarefa fundamental para o planejamento do emprego das aeronaves, incluindo desde o orçamento destinado aos projetos até o tipo específico de utilização, de acordo com as características da missão. Uma das principais métricas de estimativa dos valores gastos no uso das aeronaves é o Custo Logístico da Hora de Voo (CLHV). Uma vez definido, permite levantar o montante de investimento para cada projeto, de acordo com o número de horas a serem voadas previstas no Esforço Aéreo Anual da frota. A metodologia de cálculo deste Custo para as atuais aeronaves é estabelecida por Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA).

Na vertente de defesa do espaço aéreo, em consonância com o Projeto FX-2 de aquisição de um novo avião de caça, o COMAER desativou o uso das aeronaves F-2000 (Mirage 2000C), em função das crescentes dificuldades logísticas de suporte. Restou a cargo das aeronaves F-5M a Defesa Aérea do país, na primeira linha, até o recebimento das novas aeronaves. O projeto de aquisição mencionado elegeu o caça multimissão GRIPEN *New Generation* (GRIPEN NG), concebido pela empresa sueca SAAB. O novo caça, também referenciado como GRIPEN E/F, está em fase final de desenvolvimento da versão brasileira, com entrega das primeiras plataformas aéreas em 2021.

Este trabalho trata da estimativa do Custo Logístico da Hora de Voo da nova aeronave da FAB (GRIPEN E/F), ainda uma incógnita para fins de planejamento orçamentário de suporte à operação. Assim, estabelece-se o seguinte problema: seria possível obter um valor deste Custo, com considerável grau de confiança, a partir da análise do CLHV da aeronave GRIPEN C/D em operação e de outras aeronaves da FAB? O presente questionamento fundamenta-se na hipótese de que a aeronave GRIPEN versão E/F é uma extensão e melhoria da aeronave versão C/D fabricada pela mesma empresa, incorporando um novo grupo motopropulsor, maior peso máximo de decolagem e aviônicos de maior capacidade. O estudo baseia-se, ainda, na hipótese de que não há dados de operação da aeronave ainda em desenvolvimento, apenas de componentes do sistema como, por exemplo, do motor General Electric F414G em substituição do motor General Electric F404.

Tal abordagem se faz necessária uma vez que a atual metodologia de cálculo do CLHV das aeronaves da FAB, prevista em norma, considera dados existentes das aeronaves em operação, não contemplando ferramentas de estimativas futuras a partir de outras fontes.

É importante ressaltar que, ultrapassada a fase de desenvolvimento e aquisição da aeronave, cujo orçamento já está estabelecido contratualmente, a fase de operação requer a maior parcela orçamentária de todo o custo do Ciclo de Vida da aeronave, impactando diretamente no orçamento anual da Força. Desta forma o presente estudo trará contribuição para as assessorias de planejamento orçamentário da FAB, com a previsão dos custos anuais de operação das aeronaves.

Este propósito foi conseguido por meio da revisão bibliográfica da literatura acerca dos custos de operação da aeronave GRIPEN C/D, empregada em diversos outros países. Foram levantados os Custos Logísticos da Hora de Voo das aeronaves de caça da FAB e de todas as demais com propulsão a jato. Em seguida, foram verificadas as características técnicas que influenciam esse custo logístico, de forma a estabelecer um modelo paramétrico de regressão capaz de comparar os diferentes atributos e capacidades das aeronaves para estimar o CLHV do caça em desenvolvimento.

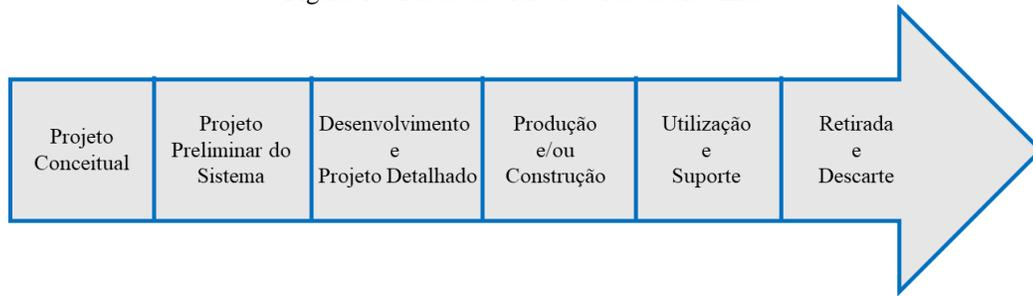
2 REFERENCIAL TEÓRICO

O custo logístico de suporte de uma frota de aeronaves permeia diferentes valores, de acordo com a sua fase do ciclo de vida. Em cada fase, os elementos que compõem as parcelas de custo permitem diferentes metodologias de estimativa. Tais metodologias se definem em função da maturidade de conhecimento de uma aeronave e da disponibilidade de informações. Nas ocasiões em que os dados sobre os custos incorridos na fase de operação de uma aeronave são desconhecidos, o modelo de paramétrico de estimativa, baseado nas características técnicas deste sistema, apresenta-se adequado.

2.1 CICLO DE VIDA DE SISTEMAS COMPLEXOS

O papel da logística no contexto do ciclo de vida de sistemas tem se tornado cada vez mais relevante, sobretudo, à medida que a complexidade destes aumenta. Segundo Blanchard (1998), o escopo da logística envolve desde o planejamento, as análises e os projetos, os testes e as avaliações, a construção e a produção, a manutenção e o suporte durante a utilização até as etapas de encerramento da operação, de reciclagem e de descarte. De acordo com o autor, atividades logísticas estão distribuídas dentro de 6 fases, conforme figura 1 a seguir:

Figura 1 – Fases do ciclo de vida de sistemas.



Fonte: (BLANCHARD, 1998, p. 11).

Na área de defesa, entende-se por sistemas complexos plataformas de armas como veículos blindados, embarcações e aeronaves. Tais sistemas complexos, geralmente, são projetados para serem suportados logisticamente e, de acordo com Green (1991), o planejamento deste suporte deve ser incluído nas primeiras fases da concepção destes sistemas. A referida inclusão dá origem ao conceito de Suporte Logístico Integrado que visa como objetivos simultâneos (GREEN, 1991) reduzir os custos operacionais e de suporte, simplificar a operação de manutenção do equipamento e assegurar a operação e disponibilidade satisfatórias do sistema.

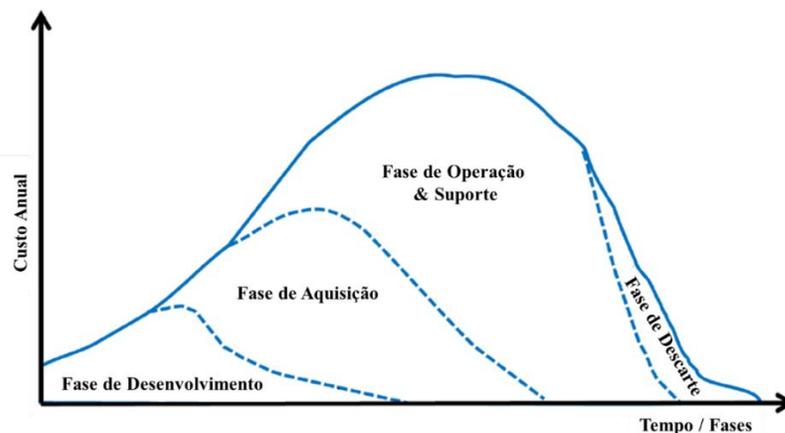
Dhillon (2013) ressalta que as tendências mundiais de crescimento da inflação, limitações de recursos orçamentários, concorrência, alto valor de sistemas como aeronaves, por exemplo, e os crescentes custos de manutenção apontam para a necessidade de se considerar o custo do ciclo de vida na aquisição de um sistema. O autor descreve que a análise deste custo possibilita estabelecer, reduzir e controlar os investimentos de forma a apoiar uma tomada de decisão mais fundamentada sobre a aquisição e a estimativa das necessidades futuras de recursos para suportar um sistema.

Em termos quantitativos, a visibilidade imediata dos custos do ciclo de vida remete aos gastos de aquisição, incluindo pesquisa, projeto, teste, produção e construção, que representam uma parcela de 25% do custo total (BLANCHARD, 1998). Um gerenciamento pleno do custo do ciclo de vida requer uma abordagem de engenharia logística para alcançar os custos ocultos atrelados ao sistema que, segundo Blanchard (1998), contemplam os custos de operação, de manutenção, de suprimentos, custos com treinamento, entre outros, geralmente não mensuráveis durante a fase de aquisição de um sistema.

A contabilização destes valores requer identificação e coleta de dados, assunção de premissas, tratamento de incertezas e limitações, procedimentos de estimativa, além de envolver recursos humanos (DHILLON, 2013). Apesar a complexidade da percepção dos custos totais do ciclo de vida, sua oportuna estimativa permite analisar a viabilidade de aquisição de um sistema e a capacidade de suporte futuro.

Em outras palavras, os valores computáveis do investimento na fase aquisição de um sistema, estabelecido contratualmente, não englobam o maior aporte de recursos financeiros. Segundo o Departamento de Defesa Americano (DOD, 2014), o dispêndio de orçamento nas fases do ciclo de vida de um projeto assume diferentes proporções, conforme descrito na figura 2 a seguir:

Figura 2 – Custo anual das fases do ciclo de vida de um sistema.



Fonte: (DOD, 2014, p. 9).

Verifica-se, que após a fase de aquisição e entrada em serviço de um sistema, a fase de utilização e operação representa o maior impacto financeiro de suporte, estendendo-se até a fase de retirada de serviço, reciclagem e descarte. De acordo com o Guia de Estimativa de Custo de Operação e Suporte do Departamento de Defesa Americano (DOD, 2014), para um sistema como uma aeronave, por exemplo, as parcelas de custo de cada uma as fases do ciclo de vida se distribuem de acordo com a figura 3 a seguir:

Figura 3 – Porcentagem de custo médio das fases do ciclo de vida de uma aeronave.



Fonte (DOD, 2014, p. 10).

O gerenciamento dos gastos com operação e suporte é estruturado em 49 elementos de custo, incluídos em 6 categorias (DOD, 2016): mão-de-obra; operação; manutenção; suporte; modernização; e suporte indireto. O Manual de Gerenciamento de Custos de Operação e Suporte do Departamento de Defesa Americano (DOD, 2016) define que os elementos de custo ainda se decompõe em subelementos, exigindo um quantitativo elevado de informações e um grau de maturidade de conhecimento sobre o sistema.

As categorias de custo, no caso de uma aeronave, ponderam entre si diferentes contribuições no cômputo dos custos de operação e suporte, conforme tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Relação entre as categorias de custo em uma aeronave.

Categorias de Custo	%
Nível de homem-hora	30,8 %
Unidades de operação	21,4 %
Manutenção	32,7 %
Suporte de apoio	1,4 %
Modernização do sistema	9,1 %
Suporte indireto	4,6 %

Fonte: (BUNECKE, 2018, p. 14).

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), o planejamento e a execução das fases ciclo de vida de sistemas é regulado por diretriz específica (BRASIL, 2007) que define ciclo de vida como:

Conjunto de procedimentos que vai desde a detecção da necessidade operacional, seu pleno atendimento por intermédio de um Sistema ou de um Material, a confrontação deste com os requisitos operacionais estabelecidos, o seu emprego e utilização, a avaliação operacional, a sua oportuna modernização ou revitalização técnica até a sua desativação. (BRASIL, 2007, p.11).

A diretriz (BRASIL, 2007) prevê como fases do ciclo de vida de um sistema a Concepção, a Viabilidade, a Definição, o Desenvolvimento / Aquisição, a Produção, a Implantação, a Utilização / Operação, a Modernização e a Desativação. Considerando a peculiaridade de cada etapa do ciclo, a fase de operação se distingue das demais por incidir a maior parcela de gastos recorrentes ao longo da vida. Desta forma, as estimativas de custos da amplitude de gastos na fase de operação se mostram relevantes no planejamento orçamentário anual de um sistema.

2.2 AERONAVES DE CAÇA DA FAB

O dimensionamento e previsão dos custos de operação de um sistema de armas são fatores chave para a tomada de decisão estratégica de uma Força (MCCOLL, 2018). Em sistemas de armas como aeronaves de caça, por exemplo, os recursos destinados a sustentar o esforço aéreo na fase de operação estão diretamente relacionados com a capacidade de garantia da soberania do espaço aéreo de uma nação. McColl (2018) comenta que a política de escolha de uma aeronave de defesa não deve apenas se limitar às capacidades técnicas da plataforma e ao custo de aquisição, mas também ao custo do suporte logístico da fase de operação.

Alinhado a esta vertente, o COMAER lançou o programa F-X em meados dos anos 90 com o intuito de analisar a implantação de uma nova aeronave de caça, em substituição ao F-103, tendo em vista evitar uma obsolescência em bloco das aeronaves de caça da frota. A linha de caças da FAB, naquela época, era estabelecida pelas aeronaves F-103, F-5, AT-26 e A-1. Em virtude das crescentes dificuldades logísticas em suportar o seu principal vetor de defesa, a FAB desativou, em 2005, a frota de aeronaves F-103 (BRASIL, 2015). Atrelada ao adiamento do Programa F-X, a desativação daquela frota implicou degradação do poder aéreo da Força.

Com o intuito de mitigar esse *gap* na capacidade de defesa, a Aeronáutica optou pela compra de aeronaves F-2000, versão mais avançada do F-103. Em janeiro de 2008, tem início um novo programa de renovação da frota de aeronaves de caça, intitulado Projeto F-X2. Em 2013, em decorrência dos dispendiosos esforços logísticos para suportar o F-2000 na fase de operação,

o COMAER desativou estas aeronaves. Considerando a desativação, em 2010, das aeronaves AT-26 (ALVIM, 2011), a defesa aérea restou a cargo das aeronaves F-5 e A-1 (BRASIL, 2015).

No mesmo ano de 2013, as análises do Projeto F-X2 apontaram para a escolha do caça GRIPEN NG como aeronave multimiissão mais adequada para atender as necessidades da força e suplantam poder aéreo das aeronaves F-5 e A-1, com encerramento das operações previsto para os próximos 5 anos.

2.3 O GRIPEN

O novo caça, sob a designação de F-39 GRIPEN, adquirido pela FAB é uma versão brasileira em desenvolvimento a partir de um projeto original (GRIPEN C/D) da empresa SAAB, utilizado pela Força Aérea Sueca. A versão em desenvolvimento GRIPEN E/F conta com maior modernização de sistemas embarcados, radar de última geração e capacidade de emprego de armamentos de fabricação nacional (BRASIL, 2015).

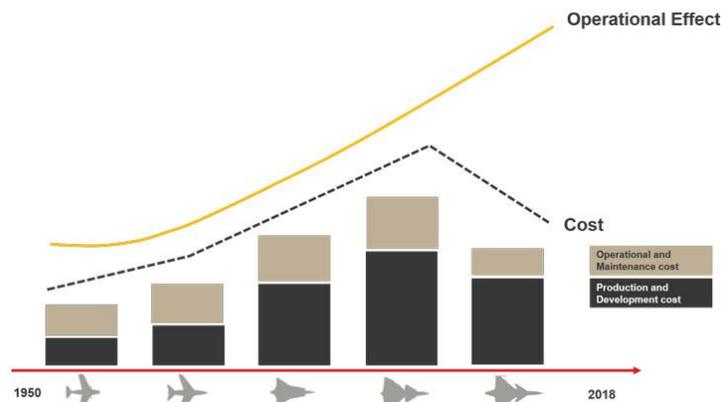
2.3.1 Versão C/D

De acordo com o sítio eletrônico da empresa SAAB, o caça GRIPEN C/D é uma aeronave que utiliza as mais recentes soluções tecnológicas e tem a capacidade de cumprir um amplo tipo de missões ar-ar, ar-superfície e reconhecimento aéreo. A empresa defende que o caça atende a rígidos requisitos de segurança, confiabilidade, treinamento e, principalmente, baixos custos operacionais.

A aeronave foi concebida em 1979 e realizou seu primeiro voo em 1988, entrando em serviço na Força Aérea Sueca em meados de 1997. Algumas melhorias técnicas como aviônicos mais avançados, *fly by wire*, e reabastecimento aéreo, foram incorporadas, aprimorando sua operação a partir de 2003.

A versão C/D, regida sob o conceito de baixo custo de operação segundo o sítio eletrônico da SAAB, é operada em países como República Checa, Hungria, África do Sul, Tailândia e Suécia. Segundo a empresa, a sua capacidade e experiência de realizar análises logísticas têm contribuído para a quebra da curva de custos de desenvolvimento e de suporte de aeronaves de caça, conforme apresentado na figura 4 a sequência das aeronaves SAAB 29 TUNNAN, SAAB 32 LANSEN, SAAB 35 DRAKEN, SAAB 37 VIGGEN e SAAB 39 GRIPEN, respectivamente.

Figura 4 – Curva de custos de desenvolvimento de aeronaves.



Fonte: sítio eletrônico SAAB.

Segundo relatório de consultoria da IHS Jane's à empresa SAAB (HUNT, 2012), o comportamento da curva apresentado na figura 4 foi quantificado, obtendo-se um valor de US\$ 4,700.00 para o custo da hora de voo do GRIPEN C/D. Hunt (2012), em seu estudo, considerou as 6 categorias dos elementos de custo (DOD, 2016), ressaltando que o custo total de operação e suporte é composto pelo combustível de aviação, suprimentos consumíveis, nível de mão-de-obra, operação e atividades de manutenção.

Por outro lado, Flanagan (2013) cita que, de acordo com o diretor do sistema GRIPEN na Força Aérea da África do Sul, segunda maior detentora da frota da versão C/D, o valor da hora de voo do caça seria US\$ 9,564,51.

2.3.2 Versão E/F

O Programa F-X2 culminou na escolha do caça multimissão GRIPEN NG para suportar a primeira linha de defesa aérea do país. A aquisição prevê a compra 36 aeronaves da versão E/F, em fase final de desenvolvimento (BRASIL, 2015). Dentre as melhorias técnicas da versão se destacam: o motor GE F414 de maior potência sobre o anterior GE F404, que permite maior desempenho de alcance e capacidade de transporte de carga; o radar com varredura eletrônica ativa, que permite maior ângulo de cobertura, com alcance superior a 120 km e capacidade de monitorar cerca de 20 alvos simultaneamente; e a eletrônica mais avançada em termos de sistema infravermelho e de comunicações entre aeronaves, segundo sítio da empresa.

Apesar da inclusão de itens embarcados de maior complexidade e custo, de acordo com a empresa fabricante, o parâmetro basilar do projeto da aeronave é a favorável relação custo-eficiência. O suporte do caça se caracteriza por possuir um pequeno rastro logístico, por ser adaptável aos requisitos operacionais dos clientes e por possuir o custo do ciclo de vida mais baixo entre os caças comparáveis.

Porém, a fase do ciclo de vida atual da aeronave e os recentes voos dos protótipos ainda não são capazes de fornecer uma base de informações completa dos custos totais de operação e suporte. Atrélada à entrada em operação das aeronaves, de acordo com o cronograma de implantação dos próximos 6 anos, está a desativação das frotas de F-5 e A-1. O presente trabalho visa estimar o custo logístico da hora de voo do GRIPEN E/F de forma a permitir prever o impacto na dotação orçamentária da Força, após o início do emprego da nova aeronave, conforme citado por Bassford (2008) e por Simooka (2013).

2.4 CUSTO LOGÍSTICO DA HORA DE VOO – O ESTADO DA ARTE

Boito *et al.* (2018) descreve que uma das métricas mais apropriadas para estimar os custos de operação e suporte de uma aeronave é o custo logístico da hora de voo. Matematicamente, o CLHV é definido pelo custo total de operação e suporte dividido pelo total de horas de voo:

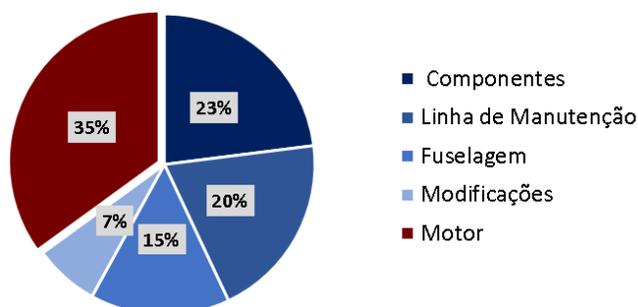
$$\text{CLHV} = \frac{\text{Custo total de operação e suporte}}{\text{Total de horas de voo}} \quad (1)$$

No Departamento de Defesa Americano, duas utilizações difundidas para essa métrica são a estimativa de orçamento, de acordo com o programa de voo, e o cálculo das taxas de reembolso pelo uso da aeronave por outra instituição (BUNECKE, 2018). O CLHV visa capturar os elementos de custo que variam diretamente com as horas de voo, tais como combustível, lubrificantes, consumíveis e gastos de acordo com níveis de reparo (BOITO *et al.*, 2018). Este

último autor detalha que podem ser incorporados ao custo total de operação e suporte, despesas com manutenção de oficinas, com contrato logístico de suporte (terceirização), com mão-de-obra e a depreciação da aeronave, de forma a ajustar a finalidade de aplicação do CLHV.

O custo logístico da hora de voo permite comparação entre os custos de operação de diferentes aeronaves e seus sistemas. Segundo Seemann *et al.* (2011), uma modelagem de gastos com manutenção, reparos e revisões gerais de cada grande sistema de uma aeronave a jato ocorrem na proporção apresentada pela figura 5:

Figura 5 – Visão geral do custo de manutenção de uma aeronave a jato.



Fonte: (SEEMANN *et al.*, 2011, p. 1).

Uma vez conhecido o CLHV, considerando as horas de voo a serem empregadas, é possível estimar o custo total de operação e suporte. Este, por sua vez, excetuando-se os gastos com combustível, permite inferir os gastos com suprimento, motores, fuselagem, ajustes técnicos e linha de manutenção, de acordo com a parcela estabelecida na figura 5.

O manual de estimativa de custo da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA, 2015) propõe os mais apropriados métodos (ou combinação deles) para estimar o custo em cada fase do ciclo de vida, considerando a qualidade dos dados disponíveis. A correspondência das opções de escolha para cada fase está representada na figura 6 a seguir.

Figura 6 – Metodologias de estimativa de custo por fase do ciclo de vida.

Programa do Ciclo de Vida			
Fase A Desenvolvimento do Conceito	Fase B/C Projeto	Fase D Construção	Operação & Suporte
Analogia	Paramétrica	Engenharia	Extrapolação
Estimativa Grosseria		Estimativa Detalhada	

Fonte: (NASA, 2015, p. 14).

O'Hanlon (2018) cita que o método de analogia é empregado na estimativa de custo por comparação de dois sistemas com projeto e operação similares, com emprego de dados históricos de um deles. A aproximação das diferenças é feita pelo ajuste de fatores de escala de diferentes

fatores como tamanho, desempenho, tecnologia, confiabilidade e complexidade, baseado no julgamento de experts.

Outro método, porém com maior carga de profundidade de informações e conhecimento do sistema, é a estimativa de engenharia. Esta técnica considera cada parcela de homem-hora e material para manutenção e demais categorias de custo de suporte (O’Hanlon, 2018). A estimativa considera um detalhamento da estrutura do sistema de cima para baixo (*top-down*), até o nível de cada subcomponente.

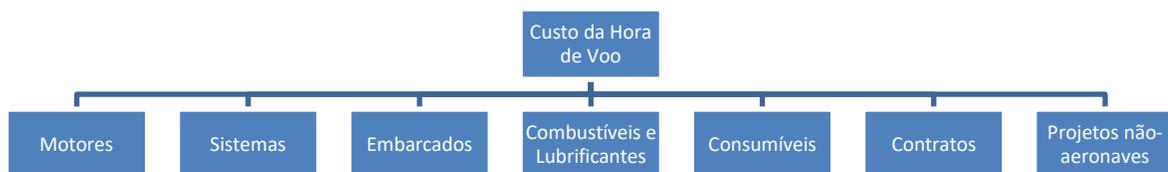
A extrapolação de custos atuais é um método que faz projeção das tendências dos custos por meio de protótipos ou modelos de desenvolvimento para um mesmo sistema (NASA, 2015). A previsão pode ser realizada em diferentes níveis de detalhe, conforme a disponibilidade dos dados.

A estimativa paramétrica de custos se fundamenta em estabelecer relações estatísticas entre os custos envolvidos na fase do ciclo de vida e características de um sistema como, por exemplo, peso, volume, preço, complexidade, desempenho, entre outros (NASA, 2015). A partir da captura do relacionamento entre os parâmetros do sistema e o custo, por meio de regressão linear, regressão não linear ou regressão múltipla é possível prever a tendência do custo baseada na alteração dos parâmetros (HEWITSON *et al*, 2018).

Complementando os métodos de estimativa, O’Hanlon (2018) acrescenta a abordagem de fatores de custos, geralmente aplicada em sistemas de armas como navios, veículos de combate e aeronaves. A estimativa se baseia no levantamento dos custos condensados em blocos, *e.g.*, motores, sistemas embarcados, contratos, equipamentos de apoio, etc até o nível de sistema (*bottom-up*).

Esta última técnica de levantamento de custos é empregada na FAB para estimativa do CLHV das aeronaves da frota (BRASIL, 2010). A instrução do Comando da Aeronáutica estabelece centros (fatores) de custo que compõe o valor da hora de voo, conforme figura 7 a seguir:

Figura 7 – Centros de custos do CLHV.



Fonte: (BRASIL, 2010, p. 19).

No cálculo desse valor, os dados são levantados junto aos Parques de Material Aeronáutico (PAMA) que fazem a manutenção nível fabricante, aos Grupos Logísticos (GLOG) que fazem os reparos nível oficina e às Bases Aéreas que operam as aeronaves. Reunido o valor gasto diretamente com cada aeronave, é adicionado o valor dos gastos com equipamentos de apoio ao solo, ferramentas, produtos especiais químicos e demais itens de uso comum, rateado entre os projetos que os empregam e ponderado pela parcela de utilização de cada aeronave (BRASIL, 2010).

O valor obtido dos custos de operação, segundo Brasil (2010), é dividido pelo esforço aéreo (horas de voo) empregado pelas aeronaves de determinada frota. Esse custo por hora de voo é incluído em uma média móvel dos últimos 5 anos para, assim, representar o custo logístico por hora de voo da respectiva frota. A sistemática descrita demonstra a necessidade um grau de

maturidade de conhecimento do sistema e de uma parcela de histórico de operação e manutenção da aeronave, o que não se adequa à necessidade de estimativa futura dos custos da nova aeronave ainda em desenvolvimento.

2.5 MODELO PARAMÉTRICO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS

Dentre os modelos de estimativa de custo discutidos no tópico anterior, o paramétrico tem sido amplamente utilizado por diversas nações para prever o custo do ciclo de vida de sistemas (OTAN, 2007). A motivação dessa tendência é baseada nas vantagens oferecidas por essa técnica de estimativa de custo que, tipicamente em sistemas de armas, está relacionado com o nível tecnológico, o desempenho e as suas características técnicas. Tais vantagens são: a objetividade, uma vez que as relações de custo são baseadas em dados consistentes, quantitativos e não subjetivos; a facilidade de uso, uma vez que a variável dependente pode ser calculada a partir de outras variáveis explicativas; e a validade, tendo em vista que a análise de regressão das saídas do modelo permite a aplicação de testes estatísticos para mensurar sua consistência.

Em uma aeronave, uma série de parâmetros pode estar relacionada com o seu custo de operação e, conseqüentemente, com o seu CLHV. Segundo Devore (2006), quando duas ou mais variáveis independentes podem ser necessárias para descrever ou inferir o comportamento de uma variável dependente, o modelo de regressão linear múltipla é o mais adequado. O modelo geral de regressão linear múltipla é dado por:

$$\hat{Y} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1X_1 + \hat{b}_2X_2 + \dots + \hat{b}_kX_k \quad (2)$$

onde

- \hat{Y} = representa a variável dependente a ser estimada;
- X_i = representa a i -ésima variável independente;
- k = corresponde ao número de variáveis independentes; e
- \hat{b}_i = coeficientes dos termos da regressão.

Segundo Montgomery e Runger (2009), o grau de ajuste do modelo aos dados e o grau de correlação entre as variáveis podem ser expressos em termos do coeficiente de determinação múltipla (R^2), expresso por:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})}{\sum(Y - \bar{Y})} \quad (3)$$

onde

- \bar{Y} = representa a média da variável dependente a ser estimada; e
- Y = representa o valor real observado da variável dependente em cada amostra.

Supondo serem registradas n observações da variável independente Y , que é representada por k variáveis dependentes, podemos reunir os dados do modelo de regressão linear, conforme tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Dados do modelo de regressão linear múltipla.

Variável Independente	Variáveis Dependentes			
Y	X_1	X_2	...	X_k
Y₁	X_{11}	X_{12}	...	X_{1k}
Y₂	X_{21}	X_{22}	...	X_{2k}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Y_n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nk}

Fonte: o autor.

Por intermédio do método dos mínimos quadrados, considerando o objetivo de minimizar os erros do modelo de regressão, é possível estimar os parâmetros $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_k$ resolvendo o sistema abaixo (DEVORE, 2006):

$$\left\{ \begin{array}{l} n\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n X_{i1} + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} + \dots + \hat{b}_k \sum_{i=1}^n X_{ik} = \sum_{i=1}^n Y_i \\ \hat{b}_0 \sum_{i=1}^n X_{i1} + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{i2} + \dots + \hat{b}_k \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{ik} = \sum_{i=1}^n X_{i1}Y_i \\ \vdots \\ \hat{b}_0 \sum_{i=1}^n X_{ik} + \hat{b}_1 \sum_{i=1}^n X_{ik}X_{i1} + \hat{b}_2 \sum_{i=1}^n X_{ik}X_{i2} + \dots + \hat{b}_k \sum_{i=1}^n X_{ik}^2 = \sum_{i=1}^n X_{ik}Y_i \end{array} \right. \quad (4)$$

Uma vez estimados os parâmetros da regressão, alteração dos valores das variáveis independentes implicam variação no valor da variável dependente (MONTGOMERY; RUNGER, 2009). No presente estudo, a variável dependente corresponde ao valor do CLHV e as independentes aos parâmetros técnicos de uma aeronave.

3 MATERIAL E MÉTODO

Conforme foi elucidado na introdução, o trabalho estrutura-se, inicialmente, em uma pesquisa descritiva e bibliográfica (GIL, 2002) acerca do Custo Logístico da Hora de Voo (CLHV), de natureza qualitativa e quantitativa.

A abordagem qualitativa visa descobrir os parâmetros considerados no cálculo do CLHV, fornecendo informações para a escolha do modelo estatístico a ser empregado na discussão dos resultados. A estruturação dos custos em 6 categorias (DOD, 2016) e 49 subelementos (BUNECKE, 2018), conforme metodologia de cálculo do custo de operação e suporte de uma aeronave requer um elevado grau de conhecimento e maturidade do sistema. A atual fase do ciclo de vida da aeronave GRIPEN NG embasa a abordagem da vertente quantitativa do trabalho.

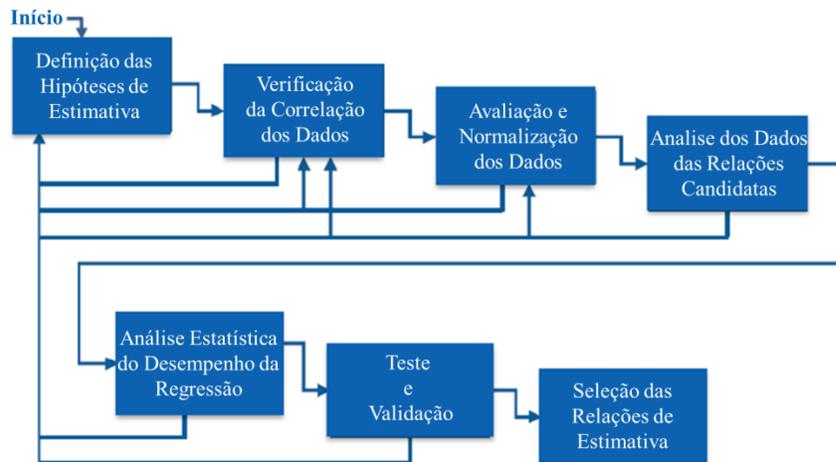
Sob a visão da Otan (2007) e Nasa (2015) o trabalho busca mensurar as características técnicas de aeronaves da frota da Aeronáutica e sua respectiva parcela de contribuição em cada parâmetro do Ciclo de Vida da Aeronave no cômputo do CLHV.

Segundo Lappas e Bozoudis (2018), a partir de parâmetros técnicos de aeronaves e o respectivo CLHV é possível estimar o custo logístico por hora de voo para uma aeronave qualquer, desde que conhecidas suas características técnicas comparativas. Os autores apontam como parâmetros diretamente relacionados com o CLHV o comprimento da aeronave, seu peso

vazio, seu peso máximo de decolagem, o consumo específico de combustível de seus motores, sua velocidade máxima, o teto (altitude máxima) de operação e, complementado por Seemann *et al.* (2011), a idade das aeronaves.

Com base no modelo paramétrico de regressão linear múltipla, proposto por Devore (2006), os parâmetros técnicos supracitados incorporaram a estimativa como variáveis independentes X_i e o CLHV como a variável dependente Y . As etapas do processo de modelagem paramétrica de custos seguem o fluxo apresentado na figura 8 a seguir:

Figura 8 – Processo de modelagem paramétrica de custo.



Fonte: (NASA, 2015, p. c-6).

A amostra de dados foi obtida por meio do levantamento das características das aeronaves de caça da FAB (A-1, AT-26, F-103, F-2000 e F-5), bem como das aeronaves com propulsão a jato (C-99, C-767, R-35, U-50, U-93, VC-1 e VC-2) e seus respectivos CLHV (YOUNOSSI *et al.*, 2002).

Por meio de tratamento estatístico, segundo Montgomery e Runger (2009), foram estabelecidas as correlações entre as variáveis independentes e a variável dependente, assim como as relações entre si das variáveis dependentes. Do resultado foram analisadas as variáveis candidatas a comporem o modelo de regressão linear múltipla para os testes e validações. Uma vez conhecidas as características técnicas do GRIPEN NG, o modelo permitiu estimar o desconhecido custo logístico da hora de voo.

Conforme Lappas e Bozoudis (2018), o custo logístico da hora de voo é considerado uma das principais métricas utilizadas pelas Forças Aéreas ao redor do mundo para estimar os recursos necessários para o suporte logístico da operação de aeronaves. Apesar disso, o aspecto linear do CLHV representa uma limitação para essa estimativa, uma vez que quanto maior é o esforço aéreo, maior é a ocorrência de manutenções programadas e não-programadas, o que afeta a proporcionalidade inicial da métrica. Outro aspecto limitante da pesquisa consiste na utilização de informações da frota de aeronaves de transporte da FAB, uma vez que a pequena variedade de aeronaves da caça não permitiu uma massa de dados consistente. Apesar da limitação, a incorporação das características e CLHV das aeronaves da frota da FAB permitiu melhor captura das especificidades e variedades dos tipos de suporte logístico peculiares da Força.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os valores obtidos, para embasarem a criação do modelo de regressão múltipla, foram levantados a partir de pesquisa bibliográfica em fonte aberta. Com o intuito de minimizar o viés das informações, a busca se concentrou nos sítios eletrônicos oficiais da FAB, da empresa SAAB e das empresas fabricantes das aeronaves e dos motores considerados.

As informações foram compiladas em planilha *Excel* contendo as informações técnicas de aeronaves da FAB, sendo 5 aeronaves de caça e 7 aeronaves de transporte com motor à jato. A presente escolha das aeronaves de transporte se baseia na hipótese de que o motor, maior parcela do custo de manutenção, tem características logísticas similares em ambas aviações. Além disso, a extensão da análise para demais aeronaves da frota brasileira tem como objetivo incorporar as peculiaridades do formato do suporte logístico da FAB no modelo.

Estabeleceu-se o valor do CLHV como a variável independente Y do modelo, registrando a média dos últimos 5 anos de cada uma das 12 aeronaves estudadas, sem considerar a inflação. As variáveis dependentes consideradas foram: X_1 - comprimento (metros), X_2 - empuxo (lbf), X_3 - teto de operação (metros), X_4 - idade (anos), X_5 - consumo específico de combustível (lb/s), X_6 - consumo total de combustível (lb/s), X_7 - peso vazio (Kg), X_8 - peso máximo de decolagem (Kg) e X_9 - velocidade máxima (Km/h). Reunidas as informações das variáveis dependentes de cada aeronave, foram analisadas as correlações existentes entre as variáveis, para seleção do melhor conjunto de variáveis para comporem o modelo.

Segundo Devore (2006), quando a correlação entre as variáveis explicativas X é próxima de 1, significa forte indício de multicolinearidade. A seleção de variáveis do modelo pode ser abordada sob a ótica de análise do grau de interdependência dos previsores, descartando aqueles cujos valores sejam próximos de 1. Outra alternativa, sugerida pelo autor, é a tentativa de examinar todos modelos formados pela combinação dos subconjuntos de repressores, quando o número de variáveis não é tão extenso, de forma a encontrar o conjunto de previsores que obtém o melhor valor de R^2 ajustado. Simulando as diversas combinações de inclusão de variáveis no modelo, por meio do *software* MINITAB®, os valores estatísticos do parâmetro R^2 ajustado da regressão, foram reunidos na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Resumo de combinações de previsores do modelo.

Nº de Variáveis	R ²	R ² Ajustado	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	0,110	0,029		x							
1	0,255	0,188									x
2	0,504	0,405					x				x
2	0,633	0,559			x						x
3	0,708	0,610		x	x						x
3	0,720	0,626			x				x		x
4	0,750	0,632			x		x			x	x
4	0,770	0,655	x		x				x		x
5	0,807	0,669	x		x			x	x		x
5	0,819	0,689	x		x		x		x		x
6	0,822	0,644	x		x		x		x	x	x
6	0,852	0,704	x		x	x	x			x	x
7	0,856	0,655	x	x	x	x		x		x	x
7	0,899	0,758	x	x		x	x		x	x	x
8	0,873	0,619	x		x	x	x	x	x	x	x
8	0,972	0,915	x	x		x	x	x	x	x	x
8	0,943	0,828	x	x	x	x	x		x	x	x
9	0,975	0,902	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: o autor.

A combinação dos subconjuntos de previsores, que melhor explicam o modelo de regressão, sugere a inclusão das variáveis dependentes consideradas, exceto o preditor “X₃ - teto de operação (metros)”, conforme tabela 3. O resumo da análise estatística do modelo foi reunido na tabela 4.

Tabela 4 – Análise dos parâmetros da regressão.

Estatística de regressão			
	R múltiplo	0,9857	
	R ²	0,9716	
	R ² ajustado	0,9148	
	Erro padrão	615,23	
	Observações	12	
Variáveis	Coefficientes	valor-p	
	Interseção	25883,93	0,0045
X ₁ - Comprimento	-762,65	0,0050	
X ₂ - Empuxo	-0,80	0,0101	
X ₃ - Idade	-536,43	0,0024	
X ₄ - Consumo esp. combustível	-1354,98	0,0070	
X ₅ - Consumo total de combustível	3226,97	0,0332	
X ₆ - Peso vazio	-1,47	0,0038	
X ₇ - Peso máximo de decolagem	1,41	0,0021	
X ₈ - Velocidade máxima	21,66	0,0016	

Fonte: o autor.

Segundo Montgomery e Runger (2009), o valor do coeficiente de determinação $R^2 > 0,9$ indica um elevado grau de adequação do modelo aos dados. Associado a isto, o valor-p $\ll 0,05$ da estimação de cada coeficiente das variáveis reforça o relevante grau de significância da escolha do conjunto de variáveis que compõe a regressão linear múltipla em discussão.

Com base no valor estimado dos coeficientes do modelo, foram utilizadas as informações técnicas da aeronave GRIPEN C/D para validação do estimador. Os valores aplicados ao modelo retornaram como CLHV da aeronave o montante de US\$ 5,237.00, com intervalo de confiança de 95% entre US\$4,548.00 a US\$5,926.00. Comparando com o valor apresentado pela consultoria realizada por Hunt (2012) de US\$ 4,700.00, inferiu-se que o modelo apresentou satisfatória calibração para estimativa do CLHV do GRIPEN E/F. Ajustado o modelo, foram inseridos os dados técnicos da nova versão do GRIPEN nas variáveis do modelo, retornando um valor de US\$ 11,580.58 para o CLHV, dentro de um intervalo de 95% de confiança de US\$ 10,099.45 a US\$ 13,061,71.

Os valores dos atributos técnicos do GRIPEN E/F não extrapolaram os valores máximos e mínimos da massa de dados extraída da frota da FAB, o que oferece mais consistência ao modelo. Apesar do desconhecimento dos custos de operação e suporte do novo caça, em virtude dos primeiros protótipos ainda não estarem em operação, o modelo paramétrico de estimativa de custos inferiu um valor para o CLHV, estatisticamente confiável, com base nas características técnicas da aeronave em desenvolvimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica fundamentou que o custo logístico de suporte à fase de operação é a parcela mais relevante do custo total do ciclo de vida de sistemas complexos. Além disso, estabeleceu que, de acordo com a maturidade de um sistema, existem diferentes metodologias mais adequadas para o cálculo do montante de recursos financeiros destinados a cada fase.

O trabalho desdobrou-se na estimativa dos custos de operação e suporte da aeronave GRIPEN NG adquirida pela FAB, que se encontra em fase final desenvolvimento. Baseado no Estado da Arte das metodologias de estimativa de cálculo empregadas no Departamento de Defesa Americano e na Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, verificou-se que o método mais adequado foi o modelo paramétrico de regressão linear múltipla.

Em virtude do GRIPEN NG ainda não estar em operação, o modelo fundamentou-se nos dados técnicos das aeronaves de caça e demais aeronaves de transporte da Força com propulsão à jato, cujo CLHV é conhecido e calculado com base nos custos de operação e suporte a essas frotas. Dentre os parâmetros técnicos das aeronaves, o modelo elencou 8 parâmetros com relevância estatística de 91,48% para a estimativa de cálculo do CLH da nova aeronave.

Desta forma, as informações sobre comprimento, empuxo, idade, consumo específico de combustível dos motores, peso vazio, peso máximo de decolagem e velocidade máxima do novo caça foram introduzidas no modelo resultando, com 95% de confiança, um valor de US\$ 11,580.58 para o CLHV, dentro de um intervalo de US\$ 10,099.45 a US\$ 13,061,71.

Retomando o problema de pesquisa, foi possível estimar um valor consistente do CLHV da aeronave GRIPEN NG, a partir dos dados técnicos do GRIPEN C/D, das aeronaves de caça da FAB e de suas aeronaves de transporte com motor à jato. O presente resultado é de grande valia para o planejamento orçamentário da FAB, em um futuro próximo, de qual será o montante anual de recursos necessários para suportar a seguinte e mais dispendiosa fase do Ciclo de Vida da nova aeronave. Dessa forma, é possível estimar o impacto da entrada em operação do GRIPEN NG concomitante ao calendário de desativação das aeronaves de caça F-5 e A-1, com base nas horas de voo anuais previstas para o novo caça.

Este trabalho não pretende encerrar o assunto, mas sim fomentar trabalhos futuros de estimativa do CLHV baseados em dados reais de operação, disponíveis assim que a aeronave entrar em operação em 2021. Além disso, o estudo vislumbra a contribuição na direção de futuras pesquisas envolvendo a nova aeronave de transporte da FAB, o EMBRAER KC-390, em fase final inicial de operação.

REFERÊNCIAS

ALVIM, Marcelo Agrícola. **O impacto da desativação do AT-26 Xavante na progressão operacional dos pilotos de caça da Força Aérea Brasileira**. 2011. 20 f. Monografia (Especialização) - Curso de Escola de Comando e Estado-maior da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.aereo.jor.br/wp-content/uploads/2016/07/O-impacto-da-desativa%C3%A7%C3%A3o-do-AT-26-Xavante-na-progress%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

BASSFORD, M. *et al.* **The Netherlands F-16 comparative analysis: An evaluation of the process**. Santa Mônica: RAND Corporation, 2008. Disponível em: https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR656.html. Acesso em: 15 maio. 2019.

BLANCHARD, B. S. **Logistics Engineering and Management**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

BOITO, M. *et al.* **Metrics to compare aircraft operating and support costs in the Department of Defense**. Santa Mônica: RAND Corporation, 2014. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/docs/citations/AD1000756>. Acesso em: 7 maio. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Portaria DIRMAB nº14, de 13 de maio de 2010. Aprova a reedição da ICA 400-2, que trata do Custo Logístico da Hora de Voo (CLHV). **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Brasília, n.93, 19 maio. 2010.

_____. _____. Estado Maior da Aeronáutica. Portaria nº18/GC1, de 25 de março de 2015. Aprova o PCA 400-82, que dispõe sobre o Ciclo de Vida de Aeronaves de Caça. **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Brasília, n.56, 9 de abr. 2015.

_____. _____. _____. Portaria nº129/GC4, de 5 de março de 2007. Aprova a reedição da DCA 400-6, que dispõe sobre Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Brasília, n.47, 9 de mar. 2007.

BUNECKE, K. **Improving Annual Fixed Wing Maintenance Cost Estimates through Cost Estimating Relationships**. 2018. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Logistic Managment, Air Force Institute of Technology, Dayton, 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Improving-Annual-Fixed-Wing-Maintenance-Cost-Cost-Bunecke/bc31b4a72ae458d0c30a705b4d9721daab0c092>. Acesso em: 18 maio 2019

DEPARTMENT OF DEFENSE. Office of the Secretary of Defense. **Operating and support cost-estimating guide**. 1. ed. Washington, D.C.: DoD, 2014. Disponível em: https://www.cape.osd.mil/files/OS_Guide_v9_March_2014.pdf. Acesso em: 6 maio. 2018.

DEPARTMENT OF DEFENSE. Office of the Secretary of Defense. **Operating and support cost management guidebook**. 1. ed. Washington, D.C.: DoD, 2016. Disponível em: <https://www.dau.mil/guidebooks/Shared%20Documents/OS%20Cost%20Guide.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2018.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. 6. ed. Thomson, 2006.

DHILLON, B. S.. **Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications**. Abingdon: Routledge, 2013. 354 p.

FLANAGAN, L. **Sky-high costs to fly Gripen, Hawk aircraft**. 2013. Disponível em: <https://www.pressreader.com/>. Acesso em: 13 jun. 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GREEN, L.L.. **New Dimensions in Engineering: Logistics Engineering**. New Jersey: Wiley & Sons, Incorporated, John, 1991. 426 p.

HEWITSON, S.C. *et al.* Analyzing operating and support costs for Air Force aircraft. **Journal Of Defense Analytics And Logistics**. Wagon Lane, p. 38-54. 21 maio 2018. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JDAL-03-2018-0006/full/html>. Acesso em: 06 maio. 2018.

HUNT, E. **Fast Jet Operating Costs: Cost per flight hour study of selected aircraft** London: IHS Jane's, 2012. 14 p.

LAPPAS, Ilias; BOZOUDIS, Michail. The Development of an Ordinary Least Squares Parametric Model to Estimate the Cost Per Flying Hour of 'Unknown' Aircraft Types and a Comparative Application. **Aerospace**, Treforest, v. 5, n. 4, p.42-63, dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/aerospace5040104>. Acesso em: 8 maio. 2018.

MCCOLL, A. **CF-39 Arrow II: A Swedish solution to the CF-18 replacement problem**. 2018. Dissertação (Master of Public Policy). Faculty of Graduate Studies, University of Calgary, Alberta, 2018. Disponível em: <https://prism.ucalgary.ca/handle/1880/109313>. Acesso em: 7 maio. 2018.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. LTC Livros Técnicos e Científicos, 2009.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA Cost Estimating Handbook**. Washington: Nasa's Newsletter, 2015. Disponível em: <https://www.nasa.gov/offices/ocfo/nasa-cost-estimating-handbook-ceh>. Acesso em: 25 jun. 2019.

O'HANLON, G. B. **An Analysis Of Aircraft Operating and Support Cost Element Structures and their Contribution to Total Costs**. 2018. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Science In Cost Analysis, Air Education And Training Command, Air Force Institute Of Technology, Ohio, 2018.

OTAN. Research and Technology Organisation. **Methods and Models For Life Cycle Costing**. Technical Report, 226 p., jun. 2007.

SAAB. **Gripen Fighter System: The Smart Fighter**. Disponível em: <https://saab.com/gripen/>. Acesso em: 04 jul. 2019.

SEEMANN, R. *et al.* **Modeling the Life Cycle Cost of Jet Engine Maintenance**. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259895284_Modeling_the_Life_Cycle_Cost_of_Jet_Engine_Maintenance. Acesso em 03 jul. 2019.

SIMOOKA, R. Replacing the CF-18: The GRIPEN NG. **Skies Magazine**, Canadá, p. 62-72, maio./jun. 2013.

YOUNOSSI, O. *et al.* **Military jet engine acquisition: Technology basics and cost-estimating methodology**. Santa Mônica: RAND Corporation, 2002.