

Disponibilidade Versus Custos: Um estudo de caso de dimensionamento de frota para operações aéreas à luz sistêmica do Suporte Integrado do Produto

Luciana Guaracy de Oliveira e Fernando Teixeira Mendes Abrahão
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – Um dos dilemas vividos por companhias aéreas está na escolha de como melhor utilizar suas aeronaves. A operação de uma frota com alta taxa de utilização de aeronaves parece ser uma melhor escolha sob o ponto de vista da diluição dos custos fixos, mas que pode não ser válida no médio e longo prazo. A literatura não é clara quanto a um método para o dimensionamento de uma frota por meio de uma visão sistêmica e de longo prazo levando em consideração todos os elementos do suporte logístico integrado. Esse artigo modela, por meio de um estudo de caso, a utilização de uma frota com todo o seu sistema de suporte e índices de desempenho (disponibilidade versus custos) para comparar estratégias diferentes para o seu dimensionamento, considerando o ciclo de vida como um todo. Como resultado pode-se observar que um dimensionamento maior da frota leva a uma redução nos custos do ciclo de vida.

Palavras-Chave – suporte integrado do produto, dimensionamento da frota, custo do ciclo de vida.

I. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de uma frota de aeronaves é um problema complexo pois envolve diversas disciplinas, equipamentos, indicadores e ferramentas para a tomada de decisão. Ao mesmo tempo, as margens financeiras atingidas pelas operadoras são pequenas. Portanto, a busca por eficiência e eficácia se torna cada vez mais presente.

Métodos de otimização de processos logísticos também estão sendo frequentemente procurados, propostos e testados na busca incessante por garantir a suportabilidade e a viabilidade financeira de sistemas complexos, os quais são cheios de tecnologias cada vez mais avançadas e de alto valor agregado [1].

Esse ambiente demanda informações mais relevantes e de precisão relacionadas a custos e desempenho de atividades, processos, produtos, serviços e clientes [2]. Um dos direcionadores operacionais de custos é o grau de utilização da capacidade das aeronaves e está diretamente ligado à escala. Nessa caso, quanto maior for a utilização, melhor será a diluição dos custos fixos [3].

Um dos dilemas vivido por qualquer companhia ou instituição que gerencie operações aéreas (companhia aérea comercial ou esquadrão operacional) é a escolha de utilização das aeronaves. Muitas vezes, opta-se por utilizá-las em seu nível máximo sem considerar as operações a médio e longo prazo. No entanto, pode existir uma forma de utilização mais recomendável pelo time de gerenciamento do suporte do ponto de vista de manutenção e dos outros elementos que compõem o suporte integrado do produto.

Uma vez definido o esforço aéreo a ser cumprido nas operações pela companhia ou instituição, o dimensionamento da frota é determinado de tal forma que o gerenciamento de suporte ao produto não é considerado. Sendo assim, essa escolha de dimensionamento pode refletir em uma super utilização das aeronaves.

No entanto, não se sabe se existe um prazo onde essa escolha é válida ou se pode ser significativamente nociva ao gerenciamento do ciclo de vida como um todo.

O suporte integrado do produto, do inglês *Integrated Product Support (IPS)* de uma aeronave é a gestão das atividades de suporte e dos elementos que as compõem durante todo o ciclo de vida, de forma que sejam entregues no tempo certo e com um bom custo benefício. Dentre as atividades do IPS, tem-se o gerenciamento de suporte ao produto que é responsável por elaborar o plano de suporte e, entre outras atividades, lida com o impacto da quantidade de aeronaves necessárias para realizar determinado esforço aéreo. Essa avaliação analisa para todo o ciclo de vida do produto o impacto da capacidade de suporte da organização em termos de pessoal, infraestrutura, equipamento de suporte, manutenção, sistemas de transporte e treinamento.

Dessa forma, o presente trabalho modela o tamanho ideal da frota para o cumprimento de um certo esforço aéreo do ponto de vista de manutenção e dos demais elementos do IPS considerando todo o ciclo de vida do produto.

O trabalho apresenta a Seção II onde é realizada uma revisão da literatura lembrando alguns conceitos teóricos que suportam a metodologia aplicada. A Seção III apresenta e detalha a metodologia envolvida na busca dos resultados. O estudo de caso é apresentado e discutido na Seção IV e, por fim, as conclusões e a contextualização da contribuição são apresentadas na Seção V.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O IPS originou da necessidade de soluções às demandas logísticas frente às demandas operacionais, na tentativa de reduzir custos de manutenção e, simultaneamente, obter o desempenho definido durante a etapa de formulação conceitual do projeto, garantindo o pleno aproveitamento durante todo o ciclo de vida planejado [4].

Em síntese, IPS é uma função de gestão que provê o planejamento inicial, recursos e controle que ajudam a assegurar que o consumidor ou usuário final receba um sistema que não somente vá atingir os requisitos de desempenho, mas possa ser apoiado com rapidez, eficiência e economia ao longo de seu ciclo de vida previsto [5]. Portanto, o objetivo do IPS é desenvolver soluções de suporte que otimizem a suportabilidade e custos enquanto atende aos requisitos operacionais de desempenho do sistema [6]. Essas soluções são agrupadas em 12 categorias chamadas elementos do IPS. Os elementos são: Manutenção, gerenciamento do suporte do produto, suprimento, recursos computacionais, interface de design, engenharia de suporte, dados técnicos, instalações e infraestrutura, mão de obra e pessoal, equipamento de suporte, treinamento e suporte e embalagem, manuseio, armazenagem e transporte.

De acordo com o manual [7], dentre os elementos que compõem o IPS, o gerenciamento de suporte ao produto consiste na elaboração do conceito e um plano de suporte integrado ao produto. Entre as atividades executadas por essa função está o gerenciamento da frota. Portanto, um dos objetivos do gerente de suporte ao produto é a sugestão de estratégias de dimensionamento da frota para um funcionamento da operação por meio de uma visão sistêmica.

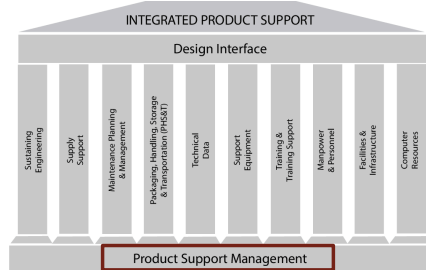


Fig. 1 – Elementos do suporte logístico integrado. Fonte: [14]

De acordo com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos [8], um número grande de estudos e relatórios indicam que os problemas frequentemente surgem na definição inicial dos requisitos durante o desenvolvimento do sistema e possuem um impacto significativo no orçamento. Outro grande problema é a coleta e análise de dados. O estudo da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos [9], recomenda melhorias na coleta e análise de dados para confrontar os problemas com desempenho, porque deficiências nos níveis desses indicadores continuam sendo responsáveis por grande parte dos problemas atuais em campo e geram preocupações com relação à prontidão e disponibilidade. Quando aplicado à taxa de utilização das aeronaves, a coleta de dados durante a fase de operação pode trazer um cenário com uma perspectiva diferente com relação aos custos.

Além disso, no aspecto econômico, muitas vezes se encontra uma falta de visibilidade total dos custos do produto. Para muitos sistemas, os custos de design, desenvolvimento e produção são bem conhecidos, no entanto os custos associados com o gerenciamento continuado do produto integrado, operação do sistema, suporte, manutenção e afins ficam um pouco escondidos. Ao mesmo tempo, a experiência tem indicado que um grande segmento dos custos durante o ciclo de vida de um dado sistema está associado com as atividades de suporte operacional e de manutenção realizado durante toda a vida desse sistema (aproximadamente 75% do custo total em alguns casos) [10].

Para diminuir o impacto dos altos custos fixos, a empresa privada e os órgãos governamentais podem procurar voar ao máximo as aeronaves de sua frota (alta taxa de utilização). Esses custos fixos são pagos esteja ou não o avião voando [11]. Dessa forma, realizar o dimensionamento da frota para o cumprimento de um certo esforço aéreo sem considerar manutenções e todo o suporte operacional pode comprometer os custos no ciclo de vida como um todo.

Outros custos importantes que não são considerados no dimensionamento e na definição da utilização da frota são aqueles relacionados ao arrendamento.

O arrendamento de aeronaves, do inglês *leasing*, é um dos meios existentes para que empresas de transporte aéreo atualizem sua frota de aeronaves. Além de ser um custo fixo mensal, o arrendamento traz os custos de operação, seguro e manutenção conforme as recomendações do fabricante visando preservar as condições de devolução no final do contrato [12]. Dessa forma, companhias aéreas operam as aeronaves com alta taxa de utilização sem considerar os custos a serem pagos no final do contrato de *leasing* com as revisões necessárias para atingir as condições de devolução.

A literatura não apresenta uma solução para a escolha do dimensionamento da frota que lida com uma abordagem sistêmica, levando em consideração a utilização das aeronaves e os elementos do IPS por todo o ciclo de vida. Dessa forma, esse artigo lida com a hipótese de que se ocorrer a modelagem da suportabilidade como um todo e o teste de diferentes cenários de taxa de utilização das aeronaves, então é possível concluir qual a melhor estratégia de dimensionamento da frota visando o menor custo no ciclo de vida.

III. METODOLOGIA

Para a metodologia proposta para esse cálculo adotou-se uma abordagem de baixo para cima (*bottom-up*), derivada da técnica de estimativa de custos de Engenharia de Projetos, para a compilação de custos básicos relacionados a eventos singulares da provisão de suporte logístico a um sistema complexo. Apesar de ser uma técnica muito precisa, requer o uso de modelagem e utilização de meios computacionais eficientes em razão da sua complexidade, profundidade e abrangência [1]. Sendo assim, utilizou-se de um pacote de softwares de gerenciamento de ciclo de vida chamado Suíte OPUS10 da empresa sueca Systecon AB, cuja licença acadêmica está disponível no Laboratório de Engenharia Logística do ITA (AeroLogLab). Neste caso, é importante destacar que o software OPUS10, utilizado para o cálculo das curvas de máxima efetividade de custo segue um algoritmo baseado na técnica conhecida como METRIC, do inglês *multi-echelon technique for recoverable item control*, formulada por [13] em seu artigo seminal de 1978. Sendo assim, as restrições e premissas trazidas por essa técnica também estão inseridas nesta modelagem. Como exemplo de premissa e restrição, tem-se a utilização da distribuição de Poisson adotada para a descrever a demanda dos itens.

O presente trabalho propõe identificar a melhor estratégia de desenho da frota e sua operação com o objetivo de otimizar a disponibilidade e reduzir os custos de suporte. Para análise dos resultados e do potencial do modelo desenvolvido, um estudo de caso foi montado. Para fins de comparação entre duas estratégias no suporte logístico integrado da frota em estudo, o cálculo dos custos de ciclo de vida de forma prospectiva foi escolhido como métrica.

Dessa forma, inicia-se a metodologia com a modelagem de um sistema de suporte logístico hipotético inspirado em um cenário real e também para o mesmo sistema com um incremento de mais três aeronaves, sendo uma modelagem matemática, estática e determinística que assume taxas de

falha constantes e tem como objetivo otimizar o desempenho do sistema escolhendo a melhor combinação de estoques para suportar a operação de acordo com diferentes valores de orçamento. Portanto, pode-se assumir que foram considerados apenas os valores médios de cada parâmetro utilizado, sem considerar medidas de dispersão. A modelagem foi realizada inicialmente para um período de cinco anos de operação desse sistema. O resultado dessa primeira modelagem é uma curva de máxima efetividade de custo em que todos os pontos representam soluções ótimas de composição de estoques para cada nível de orçamento.

A partir do resultado oferecido por essa modelagem, definiu-se como requisito para o sistema em análise a disponibilidade acima de 90%, pois a partir desse ponto o ganho em disponibilidade não é significativo frente ao investimento que deve ser realizado, uma vez que a partir desse ponto o valor de investimento vai aumentando enquanto o ganho de disponibilidade permanece o mesmo ou sofre um incremento irrisório. Dessa forma, em todos os cenários e testes avaliados o ponto mais próximo deste nível de desempenho é selecionado. Uma lista de material específica que deve ser obtida para atingir o nível de serviço desejado correspondente a este ponto foi adquirida e incorporada ao modelo para a simulação nos próximos passos.

Como passo seguinte, o modelo foi submetido ao software SIMLOX, que opera com variáveis dependentes do tempo, permitindo um entendimento maior do comportamento do sistema ao longo de sua utilização, podendo avaliar cenários, testar possíveis soluções e identificar problemas. Para a simulação utilizou-se 100 replicações de cada cenário a fim de obter mais consistência nos resultados.

Como último passo, os resultados obtidos e o modelo foram submetidos ao software CATLOC, capaz de calcular os custos no ciclo de vida. Nesse momento, todos os eventos ocorridos no período de operação simulado foram precificados e integrados no domínio do tempo, entre as diferentes bases de operação, centros de reparo e armazenagem, das missões realizadas e dos materiais componentes do sistema a fim de compor o modelo *bottom-up* dos custos do ciclo de vida.

Os passos anteriores foram repetidos para os períodos de dez e 15 anos de operação de ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves). É importante ressaltar que, apesar de todo modelo ser por natureza uma simplificação da realidade, o nível de complexidade atingido pela modelagem proposta foi ainda restrito pelos limites da licença acadêmica da suíte OPUS. Os dados completos dos experimentos estão disponíveis em: <https://www.aerologlab.ita.br/datafiles.html>.

IV. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O caso trazido por esse estudo foi derivado de um projeto real, dessa forma os dados foram descaracterizados por serem de caráter sigiloso e se limita a 20 componentes devido à restrição imposta pela licença do software utilizado. Os itens escolhidos foram somente os reparáveis e de forma aleatória.

Esse projeto possui 25 aeronaves com um índice de utilização (hora de operação/hora calendária) de 0,74. Para os testes, utilizou-se também o projeto anterior com um incremento de mais três aeronaves. Dessa forma, toda comparação gráfica realizada neste artigo está avaliando o projeto com 25 aeronaves e o projeto com 28 aeronaves em cada período de operação (5, 10 e 15 anos).

O cenário é composto por quatro bases operacionais (OP1, OP2, OP3 e OP4) localizadas em regiões diferentes do país e suportadas por um parque de manutenção (PAMA) responsável por armazenar os materiais e enviá-los para o centro de reparo nacional (CRN) ou externo (CRE).

De forma resumida, quando um componente de alguma aeronave falha, é removido na base de operação e transportado até o parque de manutenção e posteriormente transferido para um centro de reparo. As proporções de reparo em cada centro correspondem a 30% enviado ao centro nacional e 70% ao centro externo. As atividades de manutenção preventiva foram modeladas apenas no nível sistêmico por meio da inclusão de inspeções periódicas a cada 600 e 1500 horas de voo e também uma inspeção visual realizada a cada missão com as características descritas na Tabela I.

TABELA I. DESCRIÇÃO MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Nome	Descrição	Custo	IHM	Ciclo
PREVOO	Inspeção visual a cada missão	140	0,5	Missão
INSP600	Inspeção a cada 600 horas de voo	224.000	72	600
INSP1500	Inspeção a cada 1500 horas de voo	2.899.000	288	1500

Os dados básicos dos componentes selecionados são apresentados na Tabela II. Cabe ressaltar que os valores dos itens assim como as taxas de falha possuem uma certa variabilidade, tornando-se uma boa amostragem para a análise em questão.

TABELA II. DADOS BÁSICOS DOS COMPONENTES DA AERONAVE

Item	Categoria	Valor (\$)
A	LRU	1.828,73
B	LRU	12.829,68
C	LRU	13.179,24
D	LRU	86.100,55
E	LRU	12.150,52
F	LRU	17.155,52
G	LRU	21.112,34
H	LRU	57.052,81
I	LRU	10.386,26
J	LRU	1.298,76
K	LRU	50.777,59
L	LRU	32.433,09
M	LRU	2.751,70
N	LRU	8.357,60
O	LRU	151.268,34
P	LRU	74.835,05
Q	LRU	11.806,18
R	LRU	35.095,83
S	LRU	114.491,53
T	LRU	18.662,86

Os custos de transporte e estocagem foram estabelecidos com base em práticas adotadas pelo mercado de forma geral. A Tabela III descreve os tempos entre as estações assim como o custo de transporte entre elas.

TABELA III. TEMPOS E CUSTOS DE TRANSPORTE ENTRE ESTAÇÕES

Estação	Estação Mte	Custo (\$)	Tempo (dias)
Bases operacionais	PAMA	250	5
PAMA	CRN	100	2
PAMA	CRE	1.000	15
CRN	PAMA	100	2
CRE	PAMA	1.000	15
PAMA	Bases operacionais	200	5

Dessa forma, considerando um período de cinco anos de operação da frota, os sistemas descritos acima foram modelados no software OPUS10 para o cálculo da Lista de Aprovisionamento Inicial do inglês *Initial Provisioning List* (IPL), que deve ser adquirida para prover o suporte nesse período analisado e atender ao requisito de disponibilidade definido anteriormente. O sistema em seu desenho original, com 25 aeronaves foi definido como *Baseline* e o sistema com um acréscimo de três aeronaves foi definido como *Baseline Teste1*.

Na Fig. 6, as curvas de máxima efetividade de custo fornecidas pelo software para ambos os sistemas podem ser observadas com destaque para o ponto acima de 90% de disponibilidade para o sistema com 28 aeronaves. Percebe-se que para um resultado estático e determinístico, o acréscimo de três aeronaves à frota mantendo-se o mesmo esforço aéreo, sugere-se um deslocamento da curva de máxima efetividade para cima, indicando que uma disponibilidade um pouco maior pode ser alcançada mantendo-se o mesmo custo.

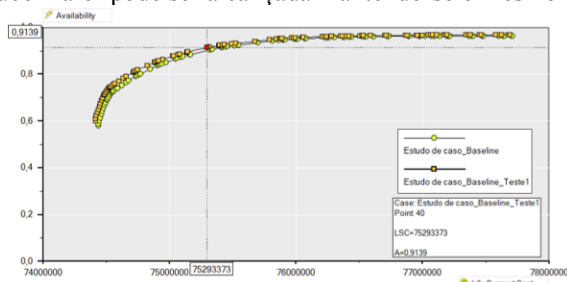


Fig. 6. Comparação entre as curvas de máxima efetividade de custo, resultados obtidos pelo software OPUS10: *Baseline* x *Baseline_Teste1*.

Com as quantidades de estoque recomendadas no ponto escolhido e o perfil de operação com distribuição de horas de voo mostrada na Fig. 7, foram realizadas simulações dos dois primeiros anos de operação de ambas as frotas com a submissão da modelagem realizada no OPUS10 no software SIMLOX. Os resultados desse processo serão discutidos posteriormente.

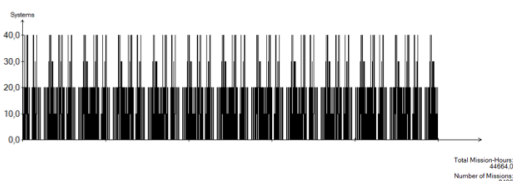


Fig. 7. Perfil operacional simulado no SIMLOX.

Em seguida, o modelo feito no OPUS10 e simulado no SIMLOX foi inserido no software CATLOC. Após reunir todos os custos correspondentes a cada evento ocorrido ao longo do cenário simulado, inclusive o custo de aquisição de novas aeronaves e inserir os custos de suporte do ciclo de vida resultantes apresentou, como pode-se perceber pela Fig. 8, os custos do ciclo de vida de cada um dos sistemas (25 e 28 aeronaves).

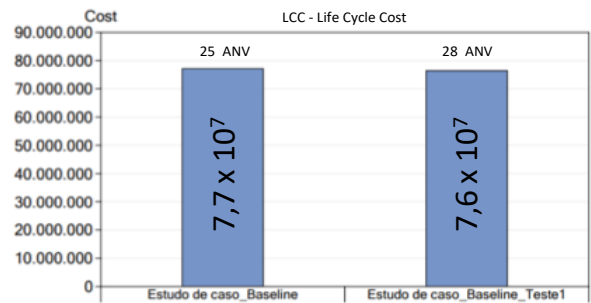


Fig. 8. Comparação entre os custos do ciclo de vida para 05 anos de operação, resultado obtido pelo software CATLOC.

Analisando o resultado obtido pelo software CATLOC em ambos os sistemas, percebe-se que mesmo ao adicionar três novas aeronaves à frota, mantendo-se o mesmo esforço aéreo, há uma redução nos custos do ciclo vida para o período modelado. No entanto, a diferença entre os custos para os dois sistemas (25 e 28 aeronaves) é aproximadamente de 1%. Ainda que não muito expressiva essa diferença, pode ser explicada devido às atividades de manutenção preventiva, uma vez que são realizadas por horas de voo. Durante as operações, para o cumprimento do esforço aéreo necessário no ano, os gerentes de frota optam por super utilizar as aeronaves sem considerar o horizonte das grandes manutenções preventivas. Dessa forma, a diferença encontrada no cálculo dos custos do ciclo de vida de ambas as frotas demonstra que a estratégia de adquirir mais aeronaves e distribuir o esforço aéreo de forma que as operações sejam mais saudáveis entre elas para um período de cinco anos de operação pode trazer uma disponibilidade maior e um custo menor. No entanto, o período analisado pode ser considerado como a fase de entrada em serviço da frota, sendo assim os testes foram repetidos para um período de 10 anos de operação.

Os mesmos passos descritos anteriormente foram realizados para ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves) em um período de operação de 10 anos. Para esse período, o sistema em seu desenho original, com 25 aeronaves foi definido como *Baseline_Teste2* e o sistema com um acréscimo de três aeronaves foi definido como *Baseline_Teste3*. Dessa forma, o mesmo requisito de disponibilidade acima de 90% para os sistemas analisados foi mantido.

Na Fig. 9, as curvas de máxima efetividade de custo fornecidas pelo software para ambos os sistemas podem ser observadas com destaque para o ponto acima de 90% de disponibilidade para o sistema com 28 aeronaves. Apesar do período de operação analisado ser o dobro, o software OPUS 10 apresenta um resultado estático e determinístico. Dessa forma, o comportamento das curvas de máxima efetividade de custo são semelhantes ao cenário anterior, com a diferença nas quantidades de estoques a serem adquiridas e no orçamento a ser gasto pois se trata de um período maior de operação.

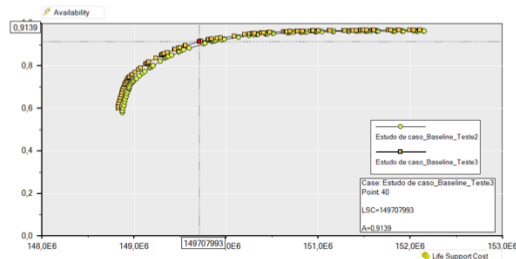


Fig. 9. Comparação entre as curvas de máxima efetividade de custo, resultados obtidos pelo software OPUS10: *Baseline_Teste2* x *Baseline_Teste3*.

As mesmas simulações dos dois primeiros anos de operação de ambas as frotas foram realizadas no software SIMLOX, assim como no cenário anterior. Os resultados desse processo serão discutidos posteriormente.

Seguindo os passos dos testes anteriores, o modelo feito no OPUS10 e simulado no SIMLOX foi inserido no software CATLOC. O resultado dos custos do ciclo de vida para ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves) pode ser observado pela Fig. 10.

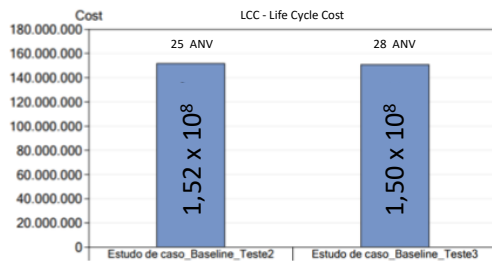


Fig. 10. Comparação entre os custos do ciclo de vida para 10 anos de operação, resultado obtido pelo software CATLOC.

O resultado obtido pelo CATLOC para um período de operação de dez anos, também apresenta uma diferença nos custos do ciclo de vida. Da mesma forma, percebe-se que mesmo ao adicionar três novas aeronaves à frota, mantendo-se o mesmo esforço aéreo, em dez anos de operação, há uma redução nos custos do ciclo vida para o período modelado. No entanto, a diferença é menor em relação aos primeiros cinco anos de operação, sendo de aproximadamente 0,5%. A explicação para diminuição está no fato de que em dez anos de operação, ambas as frotas terão voado mais horas e passam a ser elegíveis e a realizar as grandes manutenções preventivas. Ainda assim, os testes apontam uma vantagem no acréscimo de aeronaves na frota, pois há a possibilidade de aumento de disponibilidade e uma economia nos custos do ciclo de vida do sistema.

Por fim, o mesmo processo realizado anteriormente foi executado para ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves) dessa vez em um período de operação de 15 anos. Para esse período, o sistema em seu desenho original, com 25 aeronaves foi definido como *Baseline_Teste4* e o sistema com um acréscimo de três aeronaves foi definido como *Baseline_Teste5*. Dessa forma, o mesmo requisito de disponibilidade acima de 90% para os sistemas analisados foi mantido.

Na Fig. 11, resultados semelhantes para as curvas de máxima efetividade de custo foram encontrados, mas com valores semelhantes devido ao período de operação.

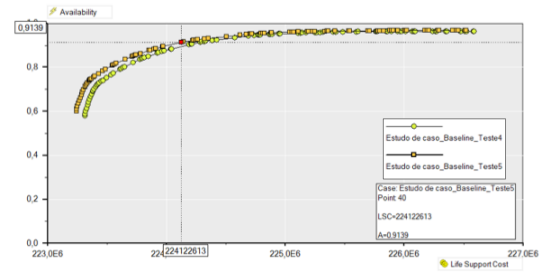


Fig. 11. Comparação entre as curvas de máxima efetividade de custo, resultados obtidos pelo software OPUS10: *Baseline_Teste4* x *Baseline_Teste5*.

As mesmas simulações dos dois primeiros anos de operação de ambas as frotas foram realizadas no software SIMLOX, assim como nos cenários anterior e os resultados desse processo serão discutidos posteriormente.

Seguindo os passos dos testes anteriores, o modelo feito no OPUS10 e simulado no SIMLOX foi inserido no software CATLOC. O resultado dos custos do ciclo de vida para ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves) pode ser observado pela Fig. 12.

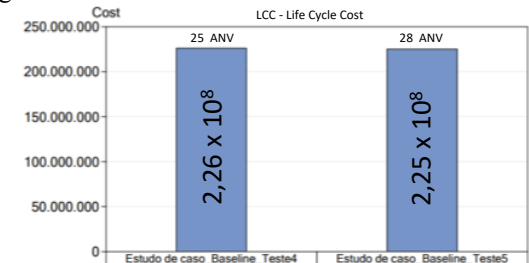


Fig. 12. Comparação entre os custos do ciclo de vida para 15 anos de operação, resultado obtido pelo software CATLOC.

O cálculo dos custos do ciclo de vida para ambos os sistemas obtido pelo CATLOC para um período de operação de 15 anos, também apresenta uma diferença nos custos do ciclo de vida. Da mesma forma, percebe-se que mesmo ao adicionar três novas aeronaves à frota, mantendo-se o mesmo esforço aéreo, há uma redução nos custos do ciclo vida para o período modelado. No entanto, a diferença ainda é menor em relação aos 10 anos de operação, sendo de aproximadamente 0,4%.

A partir dos testes realizados, conclui-se que para esse estudo de caso em um horizonte de operação de até 15 anos, deve-se considerar a estratégia de aumentar a quantidade de aeronaves para cumprir o mesmo esforço aéreo a fim de se obter uma operação saudável e otimizar a disponibilidade e reduzir os custos do ciclo de vida. A conclusão só foi possível pois utilizou-se, dentro das limitações dos softwares, todas as variáveis que compõem um sistema de suporte, de tal forma que o objetivo final foi gestão das atividades de suporte e dos elementos que as compõem durante todo o ciclo de vida, de forma que sejam entregues no tempo certo e com um bom custo benefício.

Os resultados encontrados pelas simulações dos dois primeiros anos de operação no SIMLOX para os três cenários (05, 10 e 15 anos de operação) foram os mesmos.

A explicação encontrada para que isso tenha ocorrido é devido ao fato de que nos dois primeiros anos de operação, ambos os sistemas (25 e 28 aeronaves) ainda não haviam atingido a quantidade de horas voadas elegíveis as grandes manutenções.

Com base nos resultados obtidos ao fim de 100 replicações, a simulação acusou uma disponibilidade média aproximada para ambas as frotas como pode ser observada na Fig. 13. No entanto, os valores de disponibilidade apresentados são muito discrepantes daqueles encontrados pela modelagem matemática feita no OPUS10. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de o software SIMLOX o considerar o perfil de operação das frotas para o cálculo e não se tratar de um resultado estático e determinístico. De qualquer forma, essa observação não interfere no objetivo maior desse trabalho, que é apresentar as diferenças de disponibilidade versus custos frente a diferentes desenhos e gerenciamento de frotas.

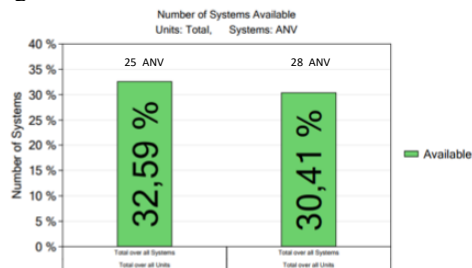


Fig. 13. Disponibilidade média para diferentes quantidades de aeronaves – simulação obtida pelo software SIMLOX.

Outro importante resultado a ser observado por meio das simulações é a quantidade de atividades de manutenção realizadas nos dois primeiros anos de operação simulados. Como mostra a Fig. 14, independentemente do período de operação, ao acrescentar mais aeronaves na frota, a quantidade de atividades de manutenção preventiva e reparo também aumentaram – um resultado já esperado. No entanto, como foi possível identificar nos testes anteriores, os custos do ciclo de vida da frota maior foram menores.

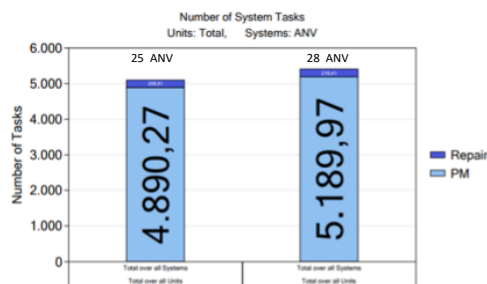


Fig. 14. Quantidade média de tarefas de manutenção para diferentes quantidades de aeronaves – simulação obtida pelo software SIMLOX.

V. CONCLUSÕES

O estudo realizado foi bem-sucedido ao alcançar seu objetivo, confirmando que a identificação da melhor estratégia de operação para um sistema de suporte logístico integrado deve ser feita por meio da modelagem desse sistema, da gestão das atividades e dos 12 elementos que as compõem com o objetivo de reduzir os custos do ciclo de vida do sistema e otimizar a disponibilidade.

Apesar das limitações de escopo, os resultados indicam um grande potencial para aplicação do modelo como ferramenta de gerenciamento e apoio a decisão. No entanto, a simples implantação de uma nova ferramenta não implica mudanças necessariamente. O uso de novas informações, sim, constitui a ferramenta para alavancar as oportunidades e minimizar os riscos nas organizações.

Como principal contribuição desse trabalho está a apresentação de um método para dimensionamento da frota para operações aéreas à luz da visão sistêmica do suporte integrado do produto, uma vez que a literatura não é clara quanto a um método que considere o sistema de suporte como um todo. Dessa forma, a definição do tamanho de uma frota leva em consideração não somente o custo de aquisição, mas todos os custos envolvidos como manutenção, suprimentos, infraestrutura, entre outros elementos e atividades do IPS.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de financiamento 001 – e da empresa Systecon.

REFERÊNCIAS

- [1] D. G. F. Pinto, F. T. M. Abrahão. Custo do Ciclo de Vida: Proposta de Método de Cálculo Prospectivo e Análise de Sensibilidade a Fatores de Confiabilidade e Manutenibilidade.
- [2] R. Cooper, R. S. Kaplan. Measure costs right: make the right decisions. *Harvard Business Review*, v. 88, n. 5, p. 36-103, 1988.
- [3] W. Rocha. Contribuição ao estudo de um modelo conceitual de sistema de gestão estratégica. Tese (Doutorado) em Controladoria e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, FEA/USP, 1999.
- [4] R. C. S. Bendia.. O suporte logístico integrado na Aviação do Exército: estudo de caso do contrato da aeronave H-225-M. Trabalho de conclusão de curso – Especialista em Ciências Militares, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. Rio de Janeiro, p. 53. 2020.
- [5] B. S. Blanchard. *Logistics Engineering and Management*. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [6] Rebouças, F. T. M. Abrahão. Planejamento estratégico de programa de manutenção preventiva de aeronaves. SIGE: Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa, 2019.
- [7] AeroSpace and Defense Industries Association of Europe and Aerospace Industries Association, “SX000i – International guide for the use of the S-Series Integrated Logistics Support (ILS) Specifications”, 2016. [Online]. Available: <http://www.sx000i.org>. [Acesso em 10 07 2022]
- [8] Department of Defense – United States of America. “DoD guide for achieving reliability, availability, and maintainability”, 2005.
- [9] National Research Council. “Statistics, Testing, and Defense Acquisition: New Approaches and Methodological Improvements”, Ed. National Academy Press, 1998.
- [10] B. S. Blanchard. *System engineering management*. John Wiley & Sons, 2004.
- [11] F. L. Córrea. Planejamento do transporte aéreo: livro didático, 2013.
- [12] E. T. Farah. Aspectos do contrato de leasing aeronáutico e garantias sobre aeronaves. *Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas*, v. 1, n. 4, p. 7-25, 2021.
- [13] C. C. Sherbrooke. *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*, New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [14] D. Floyd, M. Reyes. *Application of the Integrated Product Support Elements by the F-35 Joint Program Office*. Defense Acquisition Univ Ft Belvoir VA, 2014.