

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica.

**Luciana Guaracy de Oliveira**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DO  
GERENCIAMENTO DO SUPORTE DE UMA FROTA DE  
AERONAVES COMERCIAIS À LUZ DO PROCESSO DE  
REENTREGA**

**Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several stylized, connected letters, likely representing the name of the supervisor.

**Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão**  
Orientador

**Profa. Dra. Emília Villani**  
Pró-Reitora de Pós-Graduação

Campo Montenegro  
São José dos Campos, SP – Brasil  
2023

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

Oliveira, Luciana Guaracy de

Análise da relação custo-benefício do gerenciamento do suporte de uma frota de aeronaves comerciais à luz do processo de reentrega / Luciana Guaracy de Oliveira.

São José dos Campos.

109 f.

Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Gestão Tecnológica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2023. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão.

1. Processamento de dados. 2. Arrendamento. 3. Locação. 4. Aeronaves. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciências e Tecnologias Espaciais. II. Título.

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

OLIVEIRA, Luciana Guaracy de. **Análise da relação custo-benefício do gerenciamento do suporte de uma frota de aeronaves comerciais à luz do processo de reentrega.** 2023. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2023.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Lucina Guaracy de Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO: Análise da relação custo-benefício do gerenciamento do suporte de uma frota de aeronaves comerciais à luz do processo de reentrega.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2023

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta dissertação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação ou tese pode ser reproduzida sem a sua autorização (do autor).

---

Luciana Guaracy de Oliveira

Rua Paulo Edson Blair, 65 – Apto 71 C

CEP: 12243-100 São José dos Campos – SP

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DO  
GERENCIAMENTO DO SUPORTE DA FROTA À LUZ DO  
PROCESSO DE REENTREGA**

**Luciana Guaracy de Oliveira**

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Francisco Cristovão Lourenço de Melo	Presidente	- ITA
Prof. Dr.	Fernando Teixeira Mendes Abrahão	Orientador	- ITA
Prof. Dr.	Guilherme Conceição Rocha	Membro Interno	- ITA
Dr.	Ricardo Augusto Tavares Santos	Membro Externo	C3M

## Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, tive o suporte de algumas pessoas ao longo do caminho. A todas elas, a minha profunda gratidão.

A algumas delas pelo apoio especial que me prestaram ao longo deste trabalho gostaria de agradecer especialmente:

Ao Professor Dr. Fernando Abrahão, que gentilmente aceitou orientar minha dissertação de mestrado, demonstrando delicadeza e atenção ímpares. Seus conselhos e sugestões foram essenciais para o resultado alcançado.

À minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, apoiando e incentivando minha trajetória escolar e acadêmica.

Ao meu marido por todo apoio e carinho, principalmente por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis dessa jornada.

A cada um de vocês, meu sincero agradecimento pelo papel fundamental em minha realização.

## 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, especialmente quando a frota faz parte de um contrato de arrendamento (do inglês *leasing contract*). Um dos problemas enfrentado pela gerência das frotas são as dificuldades e complexidades no entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial. Em muitos casos, o processo de reentrega (do inglês *redelivery*) apresenta custos e dificuldades além do esperado a ponto de comprometer a relação custo-benefício do arrendamento como um todo. Uma dúvida encontrada é se a forma de condução do gerenciamento da frota do ponto de vista da sua suportabilidade e ritmo de operações pode implicar uma degradação significativa na saúde dos ativos (aeronaves arrendadas) a ponto de comprometer o processo de reentrega e seus custos relacionados. O objetivo deste trabalho é modelar a operação do ponto de vista do Suporte Integrado do Produto (do inglês *Integrated Product Support - IPS*) de uma frota de aeronaves arrendadas e, a partir dessa modelagem, avaliar o impacto na relação custo-benefício do contrato. É esperado que diferentes estratégias de gerenciamento das operações e de gerenciamento do suporte possam entregar diferentes impactos na relação custo-benefício do contrato. Os resultados podem comprometer a capacidade da operadora de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento. Os resultados encontrados trazem que operar uma frota com um ritmo de utilização exagerado, pode levar a um custo menor durante os anos de operação, no entanto, pode levar a um desentaxa maior na fase de reentrega além de penalidades devido ao atraso na devolução das aeronaves. A modelagem considerou os parâmetros de suportabilidade com cinco diferentes estratégias de gerenciamento da frota e os resultados apontam que a utilização “padrão coerente” apresenta vantagens tanto para a relação custo-benefício das aeronaves durante o período de arrendamento assim como para o processo de reentrega.

## Abstract

One of the dilemmas experienced by airlines is choosing how best to use their aircraft. Operating a fleet with a high aircraft utilization rate seems to be a better choice from the point of view of diluting fixed costs, but that may not be valid in the medium and long term, especially when the fleet is part of a leasing contract. The difficulties and complexities in understanding the cost-effectiveness of support within a typical commercial aviation lease contract. In many cases, the redelivery process presents costs and difficulties beyond what is expected, to the point of compromising the cost-benefit ratio of the lease as a whole. A question found is whether the way of conducting fleet management from the point of view of its supportability and pace of operations may imply a significant deficiency in the health of the assets (leased aircraft) to the point of compromising the redelivery process and its related costs. The objective of this work is to model the operation from the Integrated Product Support (IPS) point of view of a fleet of leased aircraft and based on this model, evaluate the impact on the cost-benefit ratio of the contract. It is expected that different operations management and support management strategies can deliver different impacts on the cost-effectiveness of the contract. The results could compromise the operator's ability to redeliver these clauses in accordance with the protocols established by the lease agreement. The results found show that operating a fleet with an exaggerated utilization rate can lead to a lower cost during the years of operation, however, it can lead to a greater disengagement in the redelivery phase, in addition to penalties due to the delay in returning the aircraft. The modeling considered the supportability parameters with five different fleet management strategies and the results indicate that the use of a “coherent standard” presents advantages both for the cost-effectiveness of the aircraft during the lease period as well as for the redelivery process.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Elementos do suporte logístico integrado (Adaptada de FLOYD; REYES, 2014).....	36
Figura 2 – Metodologia proposta neste estudo.....	53
Figura 3 – Descrição da estrutura de suporte. ....	60
Figura 4 – Disponibilidade versus custos para as cinco estratégias após a modelagem. (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	65
Figura 5 – Disponibilidade ao longo dos anos para a estratégia 1 (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	67
Figura 6 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 2 (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	68
Figura 7 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 3 (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	68
Figura 8 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 4 (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	69
Figura 9 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 5 (SOFTWARE OPUS©, 2023).....	69
Figura 10 – Gráfico com a disponibilidade média no período de arrendamento para todas as estratégias de operação.....	71
Figura 11 – Quantidade de aeronaves alocadas para realização das tarefas de manutenção preventiva para as estratégias de operação 1, 2, 3 e 4 (SOFTWARE OPUS©, 2023)...	73
Figura 12 – Quantidade de aeronaves alocadas para realização das tarefas de manutenção preventiva para as estratégias de operação 5 (SOFTWARE OPUS©, 2023). ....	73
Figura 13 – Gráfico com a quantidade de tarefas de manutenção preventiva executadas nesse período para todas as estratégias de operação.....	74
Figura 14 – Gráfico com a quantidade de tarefas de reparo de todas as estratégias de operação.....	75
Figura 15 – Gráfico com os custos ao longo do período de arrendamento de cada uma das estratégias de operação. ....	76
Figura 16 – Custos totais após a fase de reentrega para o protocolo 1.....	83
Figura 17 – Custos totais após a fase de reentrega para o protocolo 2.....	91

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resumo das referências utilizadas para a fundamentação teórica.....	16
Tabela 2 – Resumo das referências utilizadas para a pesquisa do estado da arte no tema e identificação de lacunas.....	18
Tabela 3 – Categorias dos requisitos de devolução de aeronaves (ACKERT, 2014).....	21
Tabela 4 – Métricas utilizadas para medir o desempenho do sistema de suporte de uma frota de aeronaves (ASD/AIA, 2021).....	39
Tabela 5 – Tópicos abordados na revisão bibliográfica.....	52
Tabela 6 – Distribuição da % de reparo nas estações.....	61
Tabela 7 – Informações sobre o valor de arrendamento de aeronaves.....	61
Tabela 8 – Informações sobre a manutenção preventiva.....	62
Tabela 9 – Custos e tempos de transporte entre as estações.....	62
Tabela 10 – Dados sobre a operação do sistema.....	63
Tabela 11 – Estratégias de gerenciamento da operação e de suporte.....	64
Tabela 12 – Protocolo 1 de reentrega.....	77
Tabela 13 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 1 no protocolo 1.....	78
Tabela 14 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 2 no protocolo 1.....	79
Tabela 15 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 3 no protocolo 1.....	80
Tabela 16 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 4 no protocolo 1.....	80
Tabela 17 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 5 no protocolo 1.....	81
Tabela 18 – Valor do arrendamento por mês por aeronave com multa.....	81
Tabela 19 – Duração de cada tarefa de manutenção preventiva na fase de reentrega.....	82
Tabela 20 – Multa de atraso na fase de reentrega para Protocolo 1.....	82
Tabela 21 – Protocolo 2 de reentrega.....	84



Tabela 22 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 1 no protocolo 2.....	85
Tabela 23 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 2 no protocolo 2.....	86
Tabela 24 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 3 no protocolo 2.....	87
Tabela 25 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 4 no protocolo 2.....	88
Tabela 26 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 5 no protocolo 2.....	89
Tabela 27 – Multa de atraso na fase de reentrega para Protocolo 2.....	90
Tabela 28 – Frequência a ser realizada a manutenção preventiva em cada item com e sem as extensões nos prazos.....	92
Tabela 29 – Distribuição da taxa de falha ao longo dos anos para a modelagem em fases.....	93
Tabela 30 – Diferença na quantidade de tarefas corretivas quando o impacto no comportamento da taxa da falha é modelado.....	94

## Lista de Abreviaturas e Siglas

IPS	Suporte Integrado do Produto ( <i>integrated product support</i> )
APU	Unidade de Motor Auxiliar ( <i>auxiliary power unit</i> )
FH	Horas de Voo ( <i>flight hour</i> )
FC	Ciclos de Voo ( <i>flight cycle</i> )
HTC	Componentes com revisão programada ( <i>hard time components</i> )
OCCM	Componentes com revisão de acordo com a condição ( <i>on condition and condition monitored</i> )
RAM	Confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade ( <i>reliability, availability, maintainability</i> )
IATA	Associação Internacional de Transportadoras Aéreas ( <i>international air transport association</i> )
LRU	Unidade Substituível de Linha ( <i>line replaceable unit</i> )
SRU	Unidade Substituível de Oficina ( <i>shop replaceable unit</i> )
MEL	Lista de Equipamento Mínimo ( <i>minimum equipment list</i> )
IPL	Lista de Aprovisionamento Inicial ( <i>initial provisioning list</i> )

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>12</b>
1.1	Definição do Problema .....	14
1.2	Objetivo do Trabalho .....	15
1.3	Organização do Trabalho .....	15
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>16</b>
2.1	Fundamentação Teórica .....	18
2.1.1	Arrendamento de Aeronaves .....	18
2.1.2	Contratos.....	25
2.1.3	Suporte Integrado do Produto.....	32
2.1.4	Simulação, Modelagem e Otimização de Estoque e da Disponibilidade da Frota.....	42
2.2	Pesquisa do Estado da Arte no Tema e Identificação de Lacunas.....	48
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos .....</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>Aplicação do Método, Resultados e Discussão.....</b>	<b>58</b>
4.1	Modelagem da Infraestrutura de Suporte, Frota e Operação .....	58
4.2	Simulação Infraestrutura de Suporte, Frota e Operação .....	66
4.3	Custos no Período de Arrendamento.....	75
4.4	Comparação: Diferentes Protocolos de Reentrega.....	77
4.5	Avaliação do Impacto no Comportamento da Taxa de Falha Devido às Extensões nos Prazos de Manutenção Preventiva .....	91
<b>5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>95</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>99</b>
	<b>Apêndice A .....</b>	<b>103</b>
	<b>Apêndice B .....</b>	<b>109</b>

# 1 Introdução

O gerenciamento de uma frota de aeronaves é um problema complexo pois envolve diversas disciplinas, equipamentos, medidas de desempenho e ferramentas para a tomada de decisão. Ao mesmo tempo, as margens de lucro verificadas pelas operadoras aéreas podem ser pequenas. Portanto, a busca por eficiência e eficácia nesse meio torna-se cada vez mais presente e importante.

Métodos de otimização de processos logísticos também estão sendo frequentemente procurados, propostos e testados na busca 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 (PINTO; ABRAHÃO, 2018). Esse ambiente demanda informações mais relevantes e precisas relacionadas a custos e desempenho de atividades, processos, produtos, serviços e clientes (COOPER; KAPLAN, 1988). Em operações aéreas, um dos direcionadores operacionais de custos pode ser o ritmo de utilização das aeronaves. Então, é de se esperar que quanto maior for a utilização das aeronaves, maior seria a diluição dos seus custos fixos (ROCHA, 1999).

Um dos dilemas vivido por qualquer companhia ou instituição que gerencie operações aéreas (companhia aérea comercial ou esquadrão operacional) é atender às demandas (do mercado de transporte de passageiros ou do cumprimento de missões) e dosar o melhor ritmo possível de utilização das aeronaves. Muitas vezes, opta-se por utilizá-las em seu nível máximo sem considerar as operações e o respectivo impacto no seu suporte a médio e longo prazo. No entanto, pode existir uma forma de utilização mais recomendável do ponto de vista da relação custo-benefício de suporte.

Uma vez definido o esforço aéreo a ser cumprido nas operações pela companhia ou instituição, o gerenciamento das operações da frota é determinado de tal forma que o gerenciamento de suporte às aeronaves pode não ser considerado. Sendo assim, a escolha de como gerenciar as operações e seu respectivo suporte pode refletir em utilização das aeronaves além do limite recomendável pela falta de um correto entendimento da relação custo-benefício do suporte. Não se sabe se existe uma estratégia adequada para as decisões envolvidas no problema, especialmente quando as aeronaves estarão disponíveis em um ciclo de vida limitado pelo contrato, no caso de arrendamentos.

No que se diz respeito ao dimensionamento da frota, a grande maioria das companhias aéreas optam pelo arrendamento de aeronaves devido aos altos custos de

aquisição. Dessa forma, ao realizar o arrendamento, as operadoras aéreas podem compor a frota sem grandes investimentos iniciais e ter flexibilidade para aumentá-la ou diminuí-la de acordo com a demanda do mercado. Com um mercado já consolidado e uma previsão forte de crescimento, aeronaves arrendadas representavam mais de 35% de todos os aviões operacionais no mundo em 2013 (GOMES *et al.*, 2013) e atualmente representam aproximadamente 50% (MILSTEIN, 2022). De acordo com os últimos relatórios de divulgação de resultados das companhias aéreas brasileiras, as empresas com maior quantidade de aviões em arrendamento são, respectivamente, Gol (100% da frota, com 144 aviões arrendados), Azul (86,6% da frota, com 125 aviões arrendados) e Latam (38,4% da frota, com 118 aviões arrendados). O processo de arrendamento se caracteriza pelo aluguel de uma aeronave pelo operador (arrendatário) com a empresa de arrendamento (arrendador). Esse processo representa a principal fonte de receita de qualquer empresa de arrendamento. Assim, o arrendador busca a manutenção de seu patrimônio, especificando como a aeronave deve ser utilizada por contrato, garantindo que este contrato seja seguido rigorosamente por meio de auditorias, documentações e registros da aeronave. Esse processo é realizado por meio de um contrato legal e composto por quatro fases: pré-entrega, entrega, operação e reentrega. O cerne desse trabalho está mais ligado aos estudos dos impactos de suporte para a fase de reentrega da aeronave.

O processo de reentrega consiste no ato de devolver a aeronave alugada pelo operador para a empresa de arrendamento e essa fase é caracterizada pela auditoria da aeronave e de todos os seus registros existentes. As condições nas quais ela deve ser retornada e a data na qual esse processo irá acontecer são acordados no contrato de arrendamento e cada contrato pode exigir diferentes condições de entrega da aeronave. Uma vez que a reentrega é uma parte final do processo de arrendamento, um período grande (5 a 10 anos) separa o momento do acordo com o momento do retorno da aeronave ao arrendador (IATA, 2015).

Na última fase do contrato, atividades distintas podem compor toda a reentrega, como inspeções, manutenções, visitas às oficinas, verificações e auditorias. Essas atividades possibilitam a manutenção da aeronave de acordo com os requisitos do arrendador e da autoridade aeronáutica aplicável (ACKERT, 2014) e podem variar de acordo com cada contrato estabelecido. Além disso, sabe-se que é um desafio logístico operar uma aeronave, pois a operação é composta de diversos fatores e requisitos, como

as manutenções preventivas e corretivas, modificações e reparo nas aeronaves, contrato de funcionários e aplicação de treinamentos, além do envolvimento das autoridades da aviação e dos fornecedores. A combinação de um período longo de operações e a complexidade das aeronaves e suas operações podem contribuir para o aumento dos custos, atrasos e interrupções no encerramento do contrato de arrendamento (CAMPAGNON, 2020).

Por outro lado, o suporte integrado do produto (do inglês *Integrated Product Support* – IPS) de uma aeronave consiste no processo técnico e gerencial por meio do qual as atividades e os elementos do suporte logístico são planejados, adquiridos, implementados, testados e providos no tempo certo e com um bom custo-benefício. Dentro das atividades do suporte integrado do produto, tem-se a elaboração do plano de suporte que lida, entre outras atividades, com o impacto da quantidade de aeronaves necessárias para realizar determinado esforço aéreo. Todas as atividades que compõem o suporte integrado do produto podem ser realizadas por todo o ciclo de vida da aeronave e possuem impacto na capacidade de suporte logístico de uma organização em termos de pessoal, infraestrutura, equipamento de suporte, manutenção, sistemas de transporte e treinamento. Um importante elemento do IPS é o suporte continuado de engenharia que realiza análise e diagnóstico de engenharia no ambiente operacional. Entre outras atividades, envolve também a identificação, revisão, avaliação e resolução das deficiências encontradas na aeronave por todo o ciclo de vida. Além desse elemento, tem-se um outro elemento muito importante que é a manutenção. Para manter a aeronave em condições seguras e atender aos requisitos das autoridades aeronáuticas aplicáveis, é fundamental assegurar a manutenção adequada ao longo de seu ciclo de vida (ASD/AIA, 2021). Além disso, no contexto dos contratos de arrendamento os arrendadores consideram esse aspecto como um dos mais importantes para manter o ativo (aeronave) valorizado economicamente. Portanto, esse processo técnico e gerencial do suporte logístico das aeronaves é essencial durante o período do contrato de arrendamento, pois sendo realizado da forma e no tempo corretos podem levar a um processo de reentrega mais eficiente, sem atrasos e custos não planejados.

## **1.1 Definição do Problema**

Existem dificuldades e complexidades no entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial.

Em muitos casos o processo de reentrega (do inglês *redelivery*) apresenta custos e dificuldades além do esperado a ponto de comprometer a relação custo-benefício do arrendamento como um todo. Nesse contexto, questiona-se se a forma de condução do gerenciamento da frota do ponto de vista da suportabilidade pode implicar uma degradação significativa na saúde das aeronaves arrendadas a ponto de comprometer o processo de reentrega e seus custos relacionados.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

Na literatura que versa sobre arrendamento e reentrega de aeronaves, não se identificam propostas objetivas e quantitativas para estimar o impacto da forma de condução do gerenciamento da frota do ponto de vista da suportabilidade nos custos associados à reentrega. Tal carência impede a decisão racional do gerente da frota a respeito da escolha da melhor estratégia operacional, e constitui o problema de pesquisa a ser atacado por esse trabalho.

O objetivo é modelar o suporte logístico integrado de uma frota de aeronaves arrendadas e, a partir dessa modelagem, avaliar o impacto da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento.

A modelagem considerou os parâmetros de suportabilidade com cinco diferentes estratégias de gerenciamento da frota e avaliou a relação custo-benefício das aeronaves durante o período de arrendamento e durante o processo de reentrega.

## **1.3 Organização do Trabalho**

O Capítulo 1 apresentou o contexto em que o trabalho está inserido, a definição do problema e o objetivo desse trabalho. O Capítulo 2 apresenta o estudo do problema e a revisão dos principais trabalhos relacionados bem como potenciais métodos de solução. O Capítulo 3 apresenta a estratégia metodológica utilizada para a verificação da hipótese levantada. O Capítulo 4 apresenta a aplicação da estratégia metodológica e modelagem matemática aplicados ao trabalho. O Capítulo 4 apresenta também os resultados encontrados bem como a discussão deles. O Capítulo 5 apresenta a contextualização da contribuição deste trabalho e conclui o estudo.

## 2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica está dividida em duas principais seções: fundamentação teórica (sobre conceito de suporte integrado do produto, sobre arrendamento e especificamente sobre a fase de reentrega em contratos de arrendamento) e a pesquisa do estado da arte no tema e a identificação de lacunas, tendo por base literatura relacionada ao processo de estimativa de custos da operação de aeronaves ao longo do ciclo de vida, bem como aos processos de manutenção, arrendamento e reentrega de aeronaves. Essas seções permitem que o leitor possua as informações corretas para assimilar os conceitos e os passos seguidos nesse trabalho. As principais referências estudadas estão resumidas na **Tabela 1**, considerando todo o conteúdo estudado para descrever a fundamentação teórica. Na **Tabela 1** é possível identificar os autores revisados de acordo com o ano de publicação, o tipo e informações sobre o conteúdo de cada trabalho.

Tabela 1 – Resumo das referências utilizadas para a fundamentação teórica.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conteúdo da publicação</b>
Graves	1985	Artigo	Um modelo de inventário de vários níveis para um item reparável
Blanchard	1998	Livro	Introdução à logística que aborda a perspectiva do ciclo de vida do sistema
Sherbrooke	2004	Livro	Modelagem de Inventário Ideal de Sistemas: Técnicas Multi-escalão
Molnar	2005	Artigo	Simulação e Otimização
DOD	2005	Especificação Técnica	Robusto processo de engenharia de sistemas para atingir níveis satisfatórios de RAM
Bjelicic	2012	Trabalho de pesquisa	Impacto da crise dos mercados financeiros no financiamento da aviação
Shukla <i>et al.</i>	2014	Trabalho de pesquisa	Apresenta os requisitos que devem ser considerados para a implementação do IPS
Floyd e Reyes	2014	Trabalho de pesquisa	Compreensão dos elementos IPS
Ackert	2014	Especificação Técnica	Fase de reentrega de aeronave em contratos de arrendamento: diretrizes e melhores práticas.
Lee	2015	Artigo	Otimização versus Simulação
IBA	2015	Especificação Técnica	Guia para minimizar surpresas com as despesas e maximizar o fluxo de caixa na fase de reentrega



Tabela 1 – Resumo das referências utilizadas para a fundamentação teórica. (cont.).

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conteúdo da publicação</b>
IBA	2016	Especificação Técnica	Análise de devoluções de aeronaves no contrato de arrendamento
Burhani <i>et al.</i>	2016	Artigo	Conformidade dos componentes durante a devolução de aeronaves.
IATA	2017	Especificação Técnica	Material de orientação e melhores práticas para arrendamento de aeronaves
Aircraft Commerce	2017	Artigo	Melhores práticas para devolução de aeronaves na fase de reentrega do contrato de arrendamento.
Guzhva <i>et al.</i>	2018	Artigo	Arrendamento e financiamento de aeronaves
Figueiredo <i>et al.</i>	2019	Artigo	Análise do impacto do reparo e troca de reparáveis na disponibilidade
Rebouças e Abrahão	2019	Trabalho de pesquisa	Planejamento estratégico de programa de manutenção preventiva de aeronaves (otimização).
ASD/AIA	2021	Especificação Técnica	Suporte integrado do produto e seu processo global que integra todos os elementos o ciclo de vida.
Bendia	2020	Trabalho de pesquisa	Contrato de Suporte Logístico de algumas aeronaves do Exército (IPS)
Ramírez e Anguiano	2023	Artigo	Otimização baseada em simulação da logística de equipamentos de perfuração

Na **Tabela 2** encontra-se o resumo das referências utilizadas na pesquisa do estado da arte do tema e identificação de lacunas. Na **Tabela 2** também é possível identificar os autores revisados de acordo com o ano de publicação, o tipo e informações sobre o conteúdo de cada trabalho. É possível identificar por meio do estudo do problema que há uma lacuna em relação a uma abordagem quantitativa que utilize a modelagem do suporte integrado de uma frota de aeronaves arrendadas, com o objetivo de avaliar o impacto da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas de reentregar as aeronaves, de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento. Atualmente, existe a necessidade de aprofundar a compreensão sobre como essas questões de suporte afetam diretamente as operadoras aéreas, permitindo uma análise mais precisa e embasada para a tomada de decisões estratégicas. A abordagem por meio da modelagem pode ser uma ferramenta valiosa para preencher essa lacuna e fornecer informações cruciais para o setor de aviação.

Tabela 2 – Resumo das referências utilizadas para a pesquisa do estado da arte no tema e identificação de lacunas.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conteúdo da publicação</b>
Woodward	1997	Artigo	Custeio do ciclo de vida - Teoria, aquisição de informações e aplicação
Wuttke e Sellitto	2008	Artigo	Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira
Ferreira <i>et al.</i>	2020	Trabalho de pesquisa	Metodologia de gestão estruturada para lidar com os custos do ciclo de vida da aeronave (fase de reentrega).
Campagnon	2020	Trabalho de pesquisa	Modelo prescritivo especificando as categorias de problemas que ocorrem durante a reentrega
Westervlier	2021	Artigo	Desafios encontrados no processo de arrendamento de aeronaves.
Pratiwi <i>et al.</i>	2021	Artigo	Risco no projeto de devolução de aeronaves.

## 2.1 Fundamentação Teórica

### 2.1.1 Arrendamento de Aeronaves

Existem várias maneiras pelas quais uma companhia aérea pode financiar sua operação. Bjelicic (2012) aponta sete métodos diferentes: fluxos de caixa corporativos, capital próprio, empréstimos bancários, agências de crédito à exportação (ECAs), mercados de capitais, pagamentos de fabricantes e pré-entrega e arrendamentos operacionais. Os contratos de arrendamento de aeronaves, ou arrendamento operacional, são a única modalidade que elimina os riscos associados à propriedade de aeronaves (IATA, 2017) e exige o menor capital inicial das companhias aéreas, possibilitando a entrada de novos operadores no mercado de transporte aéreo (BJELICIC, 2012).

Devido aos custos muito altos com aquisição, as companhias aéreas optam pelo arrendamento de aeronaves. Dessa forma, elas podem formar a frota sem grande investimento inicial. Além disso, o arrendamento proporciona uma flexibilidade às operadoras, pois permite que elas aumentem ou diminuam sua frota de acordo com a demanda do mercado. O processo de arrendamento, que vem se tornando um mercado consolidado, se caracteriza por um aluguel (arrendamento) de uma aeronave de uma empresa de arrendamento (arrendador) pelo operador (arrendatário). Esse processo é regulamentado por meio de um contrato formal e possui quatro estágios principais: pré-

entrega, entrega, operação e reentrega (CAMPAGNON, 2020). A combinação de um longo período de operações (5 a 10 anos) e a complexidade do ativo e sua operação podem contribuir para aumento de custos, atrasos e interrupções ao longo do fechamento do contrato. Em geral, uma reentrega ineficiente é uma questão onerosa para o arrendatário e os arrendadores. De acordo com o IBA (2015), os pagamentos indevidos resultantes de reentregas ineficientes foram de cerca de US\$ 1,65 milhões (dólares americanos) em 2015 por aeronave de corredor único, considerando um período de arrendamento de seis anos.

As empresas de arrendamento são as proprietárias das aeronaves e realizam a negociação diretamente com os fabricantes para adquiri-las e alugá-las aos arrendatários. Além disso, o processo de arrendamento é a principal fonte de receita para qualquer empresa de arrendamento. Sendo assim, o arrendador busca manter seu patrimônio líquido especificando como essa aeronave deve ser utilizada no contrato e garantindo que esse acordo seja rigorosamente seguido por meio de auditorias, documentações e registros da aeronave. Dessa forma, contratos de arrendamento são extremamente complexos. Esses contratos abrangem os regimes regulatórios da aviação e as jurisdições legais, incorporando mecanismos de proteção como a pré-mitigação de eventos adversos e falha da companhia aérea, por exemplo o guia da IATA (2015).

De acordo com IATA (2015), o processo de arrendamento pode ser dividido em quatro estágios. O primeiro estágio é a Pré-entrega que consiste no período em que o arrendador está formulando o contrato de arrendamento e é finalizado com a aprovação desse contrato por parte do arrendatário. O arrendamento pode ser um processo penoso, pois envolve um produto de custo alto com um sistema integrado complexo. Dada a importância desse contrato para ambas as partes, é necessário que tanto o arrendador quanto o arrendatário dediquem um tempo e esforço para garantir a transparência e a adequação da estrutura que será arrendada. Dessa forma, tanto o proprietário da aeronave quanto o arrendatário se protegem de qualquer problema durante o período de arrendamento. Assim, o processo de pré-entrega caracteriza-se pela negociação entre o operador com o proprietário com a intenção de alugar uma ou mais aeronaves, seguido de um pré-contrato de arrendamento, que normalmente é feito pelo próprio arrendador, e celebrado com o acordo assinado por ambas as partes envolvidas (IATA, 2015).

O segundo estágio é a fase de entrega que consiste na entrega da aeronave ao operador. Dessa forma, o operador considera e aceita os aspectos legais para seu envolvimento no processo de arrendamento, como a condição de aeronavegabilidade em

que a aeronave será entregue. Aspectos técnicos são avaliados com mais profundidade, principalmente para levar em consideração os itens mais relevantes, como motores, trem de pouso e unidade de motor auxiliar (do inglês *Auxiliary Power Unit – APU*), por exemplo. Também são realizadas inspeções físicas nas aeronaves e revisões dos registros, a fim de certificar que a aeronave cumpre as condições contratuais. Por fim, se a aeronave estiver de acordo com as condições de entrega, o operador assina o contrato e recebe a aeronave, concluindo o processo conhecido como entrega (IATA, 2015).

O estágio seguinte é a operação que consiste no período em que a aeronave está operando com o arrendatário. Ao longo da operação, o contato mais próximo e a comunicação entre arrendador e arrendatário decorrem das atividades de manutenção e conservação. Por envolver altos custos e com o objetivo de manter o valor do patrimônio, o arrendador tem uma grande preocupação com a conservação e manutenção de suas aeronaves. Dessa forma, muitos locadores impõem contratualmente a reserva de manutenção. Essa reserva garante um caixa para que sempre haja recursos financeiros para pagar as tarefas de manutenção necessárias (ACKERT, 2012). Além disso, o locador poderá exigir, durante o período de locação, auditorias e consultas aos documentos e registros para acompanhamento do estado em que se encontra sua aeronave, isso pode depender do tipo de contrato assinado. O descumprimento dessas regras, impostas por contrato, ou o não pagamento da reserva de manutenção, pode acarretar na quebra do contrato de arrendamento (IATA, 2015).

A reentrega consiste na última fase do processo de arrendamento e é nela que o arrendatário devolve a aeronave arrendada ao arrendador. Dessa forma, as condições em que aquela aeronave será devolvida e a data em que esse processo ocorrerá são acordadas no contrato de arrendamento. Como é provável que a aeronave seja transferida para outro operador, o prazo e a condição de devolução devem ser seguidos à risca pelo arrendatário, podendo sofrer penalidades severas em caso de atrasos ou interrupções durante esse processo (IATA, 2015). Ao final do período de arrendamento, a devolução pode começar, por exemplo, doze meses antes da devolução da aeronave. Durante este período o arrendatário deverá fornecer ao arrendador diversos tipos de informações sobre a aeronave envolvida. Todo o processo de reentrega contém várias atividades distintas organizadas em fases. Durante aproximadamente doze meses antes da devolução, espera-se que o arrendatário forneça ao arrendador informações sobre a condição da aeronave e seus registros. Diversas atividades podem compor toda a reentrega, como inspeções,

manutenções, visitas as oficinas, verificações e auditorias. Essas atividades permitem manter a aeronave de acordo com os requisitos do arrendador e da autoridade aeronáutica aplicável (ACKERT, 2014).

Os contratos de arrendamento geralmente descrevem as condições em que um avião deve ser devolvido ao arrendador, em uma determinada data, ao final do período de arrendamento. Estes são conhecidos como Requisitos Técnicos de Devolução (ACKERT, 2014). As condições de devolução devem ser negociadas durante o período de pré-entrega, onde o contrato de locação é gerado, evitando qualquer imprevisto ao final do prazo de locação (IATA, 2015). Segundo Ackert (2014), os requisitos poderiam ser separados em quatro categorias: a) físicos; b) registros; d) desempenho; e) certificação. A **Tabela 3** apresenta o objetivo de cada categoria.

Tabela 3 – Categorias dos requisitos de devolução de aeronaves (ACKERT, 2014).

<b>Categoria</b>	<b>Requisitos técnicos da fase de Reentrega</b>
Física	Avaliação da condição física da fuselagem, interior da cabine, componentes e sistemas.
Registros	Auditoria de todos os registros da aeronave para assegurar e garantir que eles se enquadrem nos termos do arrendamento e nas exigências das autoridades reguladoras.
Desempenho	Avaliação da garantia de potência do motor, verificação funcional e operacional dos componentes e um voo final de aceitação da aeronave.
Certificação	Garantir o cumprimento dos requisitos das autoridades locais; Garantir o cumprimento dos requisitos das autoridades seguintes (no caso de transferência para outra fronteira).

Se o estado da aeronave não estiver de acordo com as condições de devolução, ao final do período de arrendamento, o arrendatário não só precisa resolver o defeito às suas próprias custas, como também arcar com o pagamento do aluguel da aeronave. Em caso de devolução tardia, nos termos do contrato, prevê-se que o custo deste aluguel seja ainda mais elevado e, conseqüentemente, o preço do arrendamento aumente. O preço do arrendamento costuma aumentar mais de 100% do preço contratado e acordado (IATA, 2015) quando ocorre atraso na reentrega das aeronaves. Dessa forma, após a data acordada para o retorno da aeronave, caso o arrendatário não consiga realizar a reentrega, nos meses seguintes ele continua com o custo do aluguel e esse custo pode aumentar mais

de 100% do preço contratado. Em geral, todos os contratos de arrendamento especificam a manutenção e as condições em que a aeronave deve ser devolvida ao arrendador. Os requisitos típicos de devolução (acordados em contrato) definem como os componentes, motores, interiores e fuselagem devem ser entregues. Normalmente são praticadas três condições de devolução de componentes. O primeiro está relacionado com as horas de voo (do inglês *Flight Hours – FH*), ciclos de voo (do inglês *Flight Cycles – FC*) e itens com tempo de troca fixo (do inglês *Hard Time Components - HTC*), especificando níveis mínimos de utilização restante. A próxima condição diz respeito ao componente limitado ao calendário, que exige que essas categorias de componentes limitados ao calendário não precisem ser removidas nos próximos 12 meses. A última envolve os componentes OCCM (do inglês *On-Condition e Condition-Monitored*), que devem estar aproveitáveis e o tempo de voo acumulado desde novo não deve ultrapassar 110% do tempo de voo acumulado da fuselagem (IBA, 2015).

Em relação aos motores, a IBA (2015) também identifica três cláusulas típicas de devolução. A primeira trata dos níveis mínimos de utilização remanescente, que não devem ultrapassar 6.000 horas de voo do motor (EFH) até a próxima retirada programada. A segunda trata que, para cada motor, uma verificação completa deve ser executada, incluindo uma inspeção de boroscópio de seção quente e fria e de motor Run-Up de acordo com o procedimento do manual de manutenção do fabricante do equipamento original (OEM) para reentrega. Por fim, é necessário evitar qualquer condição ou defeito que comprometa a vida útil remanescente das partes constituintes do motor, também de acordo com os requisitos de aeronavegabilidade das autoridades e recomendações do OEM.

Com relação ao interior, ou seja, a parte mais tangível da aeronave para os passageiros, os arrendadores colocam grande ênfase durante o processo de devolução para manter o valor de suas aeronaves. Em geral, o arrendatário pode modificar qualquer elemento original do design da cabine. No entanto, os arrendadores costumam exigir que a aeronave retorne com o mesmo equipamento que foi entregue inicialmente. As condições de seus elementos também são importantes, tapetes, assentos e cabine. Com relação aos tetos, paredes laterais e compartimentos superiores é esperado que estejam limpos e em boas condições de manutenção (AIRCRAFT COMMERCE, 2017).

Em relação à estrutura da aeronave, que envolve questões de fuselagem, asas, empenagem e corrosão, o IBA (2015) revela que a estrutura da aeronave deve estar livre

de grandes amassados e abrasões, rebites soltos, puxados ou ausentes. Além disso, há a exigência de que todos os reparos estruturais ocorridos durante a operação da aeronave devem ser permanentes e de acordo com o manual de reparo estrutural ou qualquer documentação aprovada pelo OEM.

Com relação aos problemas de corrosão, as condições de devolução no contrato estipulam que a aeronave deve ser inspecionada e avaliada de acordo com os procedimentos aprovados de prevenção e controle de corrosão.

Algumas variações das condições de devolução podem ser aplicáveis devido à duração do arrendamento, idade, tipo da aeronave e tipo de contrato assinado. A IATA (2015) define alguns elementos das condições de devolução como “quase sempre deixados vagos”. Um dos elementos de reentrega com a condição de devolução vaga são os interiores, considerando a avaliação de termos estéticos e subjetivos, que estão abertos a várias interpretações errôneas. Expressões como "desgaste razoável" é um termo que pode levar a disputas durante a devolução da aeronave. Aircraft Commerce (2017) define a expressão “desgaste normal” como uma deterioração normal que faz com que móveis, acessórios, guarnições, painéis, anteparas, portas, painéis de piso, tetos ou outros equipamentos internos sejam usados ou tenham tal nível de deterioração que é consistente com o uso operacional normal. Esse conceito permite que algum nível de degradação seja aceitável (AIRCRAFT COMMERCE, 2017).

Outra complicação frequentemente encontrada é que os autores originais dos termos do contrato de arrendamento (representantes de arrendadores e arrendatários) não são os mesmos no término do prazo do contrato. Isso se deve especialmente aos contratos de longo prazo. Esta situação pode criar, ao longo do prazo do arrendamento, pontos de interpretação contraditórios entre arrendadores e arrendatários. O uso de termos desatualizados também pode deixar algumas cláusulas abertas a interpretações errôneas. Por exemplo, uma cláusula de devolução, que especifica que a aeronave deve ser devolvida com um ‘Check D’ atrasado; no entanto, o termo ‘Check D’ não está mais claramente definido, afirma Aircraft Commerce (2017).

A IBA (2016) fez duas perguntas aos arrendadores sobre os problemas mais comuns, os maiores desafios e motivos para um processo de devolução demorado e com o custo elevado. As questões apresentadas revelam as complicações e armadilhas do processo de devolução de acordo com as respostas dos arrendadores (IBA, 2016). As principais causas raiz são mencionadas como:

- Falta de planejamento do arrendatário;
- Falta de engajamento antecipado com o arrendador;
- Foco inadequado em ativos durante a operação;
- Demandas operacionais do arrendatário consumindo recursos da fase de reentrega;
- Registros descentralizados, ausentes ou preenchidos incorretamente;
- Subestimação da carga de trabalho total na fase de reentrega;
- Prazos de entrega versus expectativas do arrendador;
- Descoberta de trabalho adicional necessário durante a entrada de manutenção na fase de reentrega;
- Falta de interesse do arrendador pela aeronave devolvida;
- Motores falhando nas inspeções boroscópicas finais.

Essas complicações citadas acima podem levar a atrasos e possíveis custos adicionais durante as transações no contrato de arrendamento. Além dessa preocupação, os arrendadores ressaltam a importância de se manter a aeronave em condições seguras e de atender a todos os requisitos das autoridades aplicáveis. Para que isso aconteça, é essencial garantir a manutenção adequada durante o ciclo de arrendamento das aeronaves. Os arrendadores consideram esse aspecto o mais importante para manter o ativo valorizado economicamente. Sendo assim, durante a fase reentrega, o arrendador despense um esforço maior para auditar as atividades e os registros das manutenções mais significantes realizadas (ACKERT, 2014).

Os pacotes de manutenção mais comuns são conhecidos como “Check A” e “Check C”, que podem ser entendidos pela indústria aeronáutica em termos da quantidade e complexidade das tarefas a serem realizadas, como o menor e o maior “Check” respectivamente. Em geral, como o “Check C” é um pacote de manutenção no qual várias áreas essenciais da aeronave são cobertas, como reposição de peças, inspeções e testes, esse procedimento espera-se que seja requisitado pelo arrendador na fase de reentrega. Além disso, a manutenção preventiva pode estar além do escopo dos pacotes de manutenção. Como exemplo, pode ser necessário executar tarefas isoladas de



manutenção, revisão e visitas aos fornecedores de alguns componentes, como trem de pouso, APU e motores.

Ao mesmo tempo, as tarefas de manutenção corretiva ocorrem para suportar o arrendatário no caso de algum evento não rotineiro, como a falha não esperada de um componente ou um dano estrutural na fuselagem. Esses tipos de manutenção estão normalmente fora do controle do arrendatário e podem ser requisitadas em diferentes situações. Porém, as preocupações do arrendatário que envolvem manutenções não são exclusivas das ações de manutenção, os arrendatários também podem encontrar algumas dificuldades e armadilhas durante o planejamento e gerenciamento da manutenção da aeronave. Em geral, o operador tem que administrar não apenas uma aeronave, mas sim uma frota de aeronaves. Esse cenário gera um desafio logístico, que pode ser composto por diversas áreas distintas, como o gerenciamento de operações de voo, peças e componentes, recursos pessoais e outros (AIRCRAFT COMMERCE, 2017).

### **2.1.2 Contratos**

Um requisito muito comum na fase de reentrega nos contratos de arrendamento é que uma aeronave seja capaz de voar sem grandes manutenções por um período de tempo geralmente consistente com um intervalo de manutenção “Check C” completo. Os pontos técnicos abordados no contrato de arrendamento, como os elementos físicos e as condições dos registros, geralmente constituem uma grande parte da discussão porque possuem uma importância financeira tanto para o arrendatário quanto para o arrendador. A maioria dos contratos de arrendamento contém as cláusulas que abordam a necessidade de devolver a aeronave atendendo a certos requisitos técnicos de devolução (ACKERT, 2014).

Um arrendamento de aeronave comercial contém uma série de cláusulas que abordam os padrões para a condição de devolução de uma aeronave no vencimento do arrendamento. Essas cláusulas estabelecem considerações contratuais que um operador aéreo deverá cumprir. O escopo dessas considerações contratuais de devolução é categorizado em: 1.) Considerações na pré-reentrega e, 2.) Considerações nas condições de reentrega (ACKERT, 2014).

Uma série de reuniões planejadas é estabelecida para abordar os desafios técnicos de devolução (por exemplo, condições de devolução, inspeções físicas, status de registros, capacidade do operador, etc.) com o objetivo de avaliar e documentar de forma

abrangente o status do avião em relação às condições de devolução do arrendamento. Durante essas reuniões, o arrendador e o arrendatário devem desenvolver e concordar com os planos detalhados que descrevem os processos e os principais marcos.

A reunião de pré-reentrega é geralmente agendada entre seis e nove meses antes da data programada de reentrega. Durante a reunião, o arrendatário fornece ao arrendador a hora e o local da verificação de devolução e, se aplicável, as visitas programadas à oficina de motor, APU ou trem de pouso. É durante este período que o arrendador aborda a aeronavegabilidade da aeronave, as lacunas nas condições contratuais de entrega e devolução, o status dos componentes de alto custo e os itens que podem atrasar a reentrega da aeronave. De acordo com Ackert (2014), segue um exemplo de uma cláusula de um contrato com relação às reuniões de pré-entrega: “Por um período começando nove meses e não menos que seis meses antes da data de devolução proposta, o arrendatário e o arrendador concordarão em realizar uma reunião de pré-reentrega com a finalidade de: a.) Revisar os próximos escopos de trabalho para a verificação da devolução da aeronave e, se aplicável, qualquer motor, APU ou visita à oficina do trem de pouso e b.) Revisão de toda a documentação a ser fornecida pelo arrendatário em preparação para a próxima revisão da documentação da aeronave.”

Uma revisão abrangente dos registros é realizada com o arrendatário pelo menos entre um e três meses antes da data programada de reentrega. Além de determinar se a aeronave está em condições de operação segura, o objetivo principal da revisão dos registros é garantir integridade, precisão, facilidade de compreensão, consistência com os padrões da indústria e conformidade com os requisitos regulamentares obrigatórios. Portanto, todo esforço deve ser feito para descobrir erros, inconsistências, deficiências ou outras preocupações associadas aos registros que possam afetar o valor ou revenda da aeronave.

A revisão de registros é o elemento mais demorado do processo de reentrega para ser concluído e, na maioria das vezes, é a única causa de atrasos na transição. Como a auditoria de registros será realizada separadamente das inspeções de aeronaves, o arrendatário deve fornecer ao arrendador a localização dos registros do avião que precisam ser revisados (ACKERT, 2014). O autor ilustra um exemplo de uma cláusula de um contrato com relação à revisão dos registros: “Por um período começando três meses, mas não antes de um mês, antes da data de devolução proposta e continuando até a data em que a aeronave for devolvida ao arrendador nas condições exigidas por este

arrendamento, o arrendatário irá fornecer para a revisão da arrendadora e/ou seu representante todos os registros da aeronave e documentos históricos em uma sala central com acesso a telefone, fotocópia, fax e conexões de internet no local de devolução da aeronave.”

A inspeção física da aeronave é realizada com o arrendatário, coincidindo com a remoção da aeronave do serviço de receita ou entre uma e duas semanas antes da devolução programada da aeronave. As tarefas de inspeção de aeronaves são geralmente de natureza visual, consistindo em uma inspeção geral para detectar discrepâncias e fornecer uma avaliação geral da condição da estrutura da aeronave, seus componentes, sistemas e interior da cabine. Essa inspeção oferece uma oportunidade para o arrendador determinar se a aeronave está sendo mantida de acordo com os regulamentos que regem essa jurisdição e estabelecer qualquer incompatibilidade entre a condição provável e a condição de devolução contratada conforme estipulado no contrato de arrendamento da aeronave. A inspeção física da aeronave geralmente é composta de uma inspeção física da fuselagem e da cabine. Ackert (2014) mostra um exemplo de uma cláusula de um contrato com relação à inspeção física: “A inspeção da aeronave começará após seu último voo comercial e continuará até a data em que a aeronave for devolvida ao arrendador nas condições exigidas por este arrendamento. Durante a inspeção da aeronave, o arrendador e/ou seus representantes terão a oportunidade de observar as verificações do sistema funcional e operacional, realizar uma inspeção visual da aeronave (levando em consideração o tipo de aeronave, idade, uso e outros fatores conhecidos em relação à aeronave), e têm o direito, na medida do necessário em sua opinião razoável, de abrir painéis ou áreas adicionais para permitir inspeção adicional por qualquer parte da inspeção”.

As considerações na fase de pré-reentrega visa abordar os desafios da fase de reentrega do contrato de arrendamento. Um contrato de arrendamento possui disposições cuja intenção é fornecer os termos e condições de devolução necessários para garantir que os interesses do arrendador sejam devidamente protegidos por meio de condições abrangentes de devolução.

Do ponto de vista do arrendador, uma boa condição de manutenção na devolução é fundamental para sustentar um valor residual favorável e fornece a melhor garantia para o potencial de arrendar novamente essa aeronave.

De acordo com Ackert (2014), existem inúmeros padrões de manutenção que descrevem a condição da aeronave na devolução, cujo escopo garante a prontidão operacional da aeronave e facilidade de transferência para um novo arrendatário. A aeronave deve ser devolvida ao arrendador nas mesmas condições gerais em que estava quando a aeronave foi entregue. Um resumo das principais considerações sobre a condição de devolução segue abaixo:

- A. Motores: Os motores são os direcionadores de custo de manutenção mais caros e, portanto, garantem o maior detalhamento de informações necessárias para avaliar seu status de manutenção na reentrega. Não deve haver nenhuma evidência de qualquer condição que faça com que o motor fique inoperante, reparável com uma inspeção de frequência aumentada ou não atenda aos requisitos operacionais definidos no contrato de arrendamento.
- B. APU: Semelhante aos requisitos estabelecidos para os motores, os padrões para o APU são estabelecidos para garantir que nenhuma deterioração anormal no desempenho seja evidente na devolução.
- C. Peças e componentes: Exigirão etiquetas de aprovação de aeronavegabilidade. Essas etiquetas são mais comumente conhecidas como Certificados de Conformidade (usados apenas para peças e componentes recém-construídos) ou Certificados de Liberação Autorizada (para peças e componentes usados).
- D. Fuselagem: São realizadas inspeções visuais para detectar discrepâncias e fornecer uma avaliação geral da condição da estrutura da fuselagem.
- E. Interior, *cockpit* e compartimentos de carga: A experiência mostra que a condição do interior é a questão mais controversa na reentrega. Para diminuir discussões, geralmente a condição de reentrega do interior é descrita da maneira mais clara e precisa possível.
- F. Diretrizes de aeronavegabilidade: Também é comum uma certa quantidade de autorização pós-devolução para as Diretivas de Aeronavegabilidade (ADs). O intervalo de liberação pode corresponder ao período estabelecido para equipamentos principais (por exemplo, fuselagem e motores), ou por um período não inferior a um ano.
- G. Reparos: Os reparos que são aceitáveis e os que não são podem ser definidos de maneira clara e fazer referência à documentação de reparo associada.

- H. Modificações: São claramente definidos o limite esperado acima do qual o arrendatário exigirá o consentimento prévio por escrito do arrendado, e as modificações que são aceitáveis e as que não são, fazendo referência à documentação de reparo associada.
- I. Pintura e polimento: Na maioria dos casos a aeronave é devidamente polida (dependendo da condição) e pintada toda de branco ou com pintura designada pelo arrendador.
- J. Voo de aceitação: Um voo de aceitação usando os procedimentos de voo de teste do próprio arrendatário ou procedimentos fornecidos pelo fabricante da aeronave é realizado.
- K. Certificado de aceitação de devolução: A aeronave poderá ser aceita para devolução somente se a aeronave atender aos requisitos da autoridade competente.

Segundo Ackert (2014), os contratos de arrendamento especificam condições mínimas absolutas para garantir que um arrendatário subsequente seja capaz de operar uma aeronave sem grande manutenção por um período de tempo geralmente consistente com um intervalo “Check C”. Na maioria dos arrendamentos, o arrendatário é obrigado a devolver o ativo no final do arrendamento em uma condição que geralmente “espelha” os requisitos de entrega de um arrendatário subsequente. A regra geral é que o arrendador especificará as condições mínimas de devolução abaixo do qual o arrendatário é obrigado a realizar a manutenção antes de devolver a aeronave. Dessa forma seguem alguns exemplos de cláusulas de contrato que ilustram as condições mínimas de entrega que serão estudadas nesse trabalho:

- i. Motores: A condição dos motores na reentrega pode ser estruturada de acordo com dois padrões que consistem em: a.) exigir um número mínimo especificado de horas de voo e ciclos restantes antes de sua próxima visita à oficina, ou b.) estabelecer um tempo limite pelo qual o motor não pode ter mais do que uma certa quantidade de ciclos de horas de voo desde a última visita à oficina.
  - a) Pode ser validado por meio do uso de análise de monitoramento de tendências, que é uma ferramenta confiável para avaliar a saúde geral do motor e prever o tempo restante na asa; hoje, a maioria das

companhias aéreas emprega o uso de Programas de Monitoramento do Condicionamento do Motor (ECMP) para rastrear e monitorar as tendências de seus motores. A interpretação dos dados de monitoramento de tendências, no entanto, pode ser subjetiva, especialmente quando os dados indicam deterioração anormal ou rápida no desempenho de um motor. Dessa forma, segue um exemplo de uma condição de reentrega seguindo esse padrão:

*“Cada motor deve ter um mínimo de 4.500 FC restantes no limitador de cada motor, bem como dados de tendência indicando que o motor, na classificação de empuxo total, será capaz de operar um mínimo de 24 meses, 6.000 horas de voo e 4.500 ciclos até a próxima visita à oficina de restauração do desempenho do motor com base nos dados do fabricante e nos dados de monitoramento de tendências.”*

- b) Estabelece intervalos “desde” a última visita à oficina de motores, o que é mais prático de administrar, pois o retorno de motores com mínimos de *hard-time* pode ser facilmente gerenciado. Uma preocupação para o arrendador, no entanto, é se o arrendatário subsequente insistir em não aceitar os motores com o mínimo de tempo restante na asa. Nesse cenário, é possível que a análise de monitoramento de tendências demonstre que os motores não conseguem atingir os mínimos contratuais. Dessa forma, segue um exemplo de uma condição de reentrega seguindo esse padrão:

*“Cada motor deve estar operacional e não deve ter acumulado mais de 6.000 horas de voo e 3.000 ciclos de voo desde a última restauração de desempenho”*

*“Cada peça limitada de vida útil do motor deve ter pelo menos 3.000 ciclos de voo restantes até a próxima remoção e substituição programadas”*

- ii. Itens com tempo de troca fixo: O fabricante da aeronave identifica certos componentes que requerem uma ação de manutenção específica em intervalos de tempo especificados (horas, ciclos ou calendário, conforme o caso). Exemplos desses componentes são os slides de evacuação, extintor de

incêndio, kits de primeiros socorros e coletes salva-vidas. Na reentrega, o arrendador deve validar o status desses componentes em relação aos requisitos de vida útil remanescente definidos no contrato de arrendamento. Dessa forma, segue um exemplo de uma condição de reentrega seguindo esse padrão:

*“Todos os hard times components devem ter remanescentes para a próxima manutenção pelo menos: (i) para itens sujeitos a limite de horas, 6.000 Horas de Voo; (ii) para itens sujeitos a um limite de ciclo, 4.500 Ciclos; ou (iii) para itens sujeitos a limite de calendário, intervalo de 24 meses. Caso tais componentes hard time tenham um intervalo inferior a 6.000 Horas de Voo, 4.500 Ciclos ou intervalo de 24 meses (conforme o caso), eles terão 100% de vida restante.”*

Segundo Ferreira *et al.*, (2020), a negociação de um contrato de arrendamento de aeronaves é, sem dúvida, um fator determinante para o sucesso de uma companhia aérea. Ele estabelece um contrato de longo prazo entre arrendatário e arrendador, onde muitas variáveis são desconhecidas para ambos os lados. No entanto, as proteções disponíveis para o proprietário do ativo podem ser maiores do que aquelas que protegem a companhia aérea. Conforme dito por Guzhva *et al.*, (2018), a negociação depende de vários fatores diferentes. Os fatores incluem duração do contrato, fatores de taxa de arrendamento, pagamentos de pré-depósito, reservas de manutenção, possibilidade de devolução antecipada e condições de devolução.

Segundo Westervlier (2021), a reentrega requer um planejamento detalhado e um exercício de gerenciamento de riscos. Este exercício é muitas vezes deixado até que seja tarde demais para retornar ao que poderia ter sido a opção mais econômica. Muitas companhias aéreas podem achar que o processo de devolução começa quando a aeronave encerra suas operações comerciais. Este pode ser um erro que pode custar milhões à companhia aérea. Preparar-se com antecedência para a devolução do aluguel pode ser absolutamente necessário. As condições de devolução são o ato final do ciclo de arrendamento da aeronave. Essas condições são, em muitos casos, objeto de muitos debates e argumentos, podendo levar a algumas circunstâncias extremamente estressantes.

Os contratos de arrendamento são instrumentos muito complexos firmados entre partes sofisticadas, representadas por assessores jurídicos em um mercado competitivo.

Os contratos de arrendamento são bastante diferentes e muitos deles estão abertos a interpretações e discussões (WESTERVLIER, 2021). O arrendamento de aeronaves poderia se beneficiar de uma maior harmonização e padronização dos contratos, mas principalmente de um gerenciamento do suporte continuado durante todo o ciclo de vida de tal forma que os arrendatários pudessem atender os protocolos da fase de reentrega ao mesmo tempo que controla os custos do ciclo de arrendamento das aeronaves durante a fase de operação.

### **2.1.3 Suporte Integrado do Produto**

O ciclo de vida de um produto, como uma aeronave, descreve a vida do produto desde o início até o fim usando um modelo funcional com fases sequenciais distintas. Essas fases provêm uma organização com uma estrutura para tomada de decisão e garantem uma visibilidade e controle de alto nível do projeto e dos processos técnicos. De acordo com as especificações do guia do suporte integrado do produto, considera-se as seguintes fases: design, desenvolvimento, produção, operação (em serviço) e descarte. O suporte integrado do produto está dentro de cada uma dessas fases (ASD/AIA, 2021).

O suporte integrado do produto originou-se 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 de sistemas complexos, garantindo o pleno aproveitamento durante todo o ciclo de vida planejado (BENDIA, 2020). A logística no setor de defesa evoluiu através do conceito do suporte integrado do produto que foi formalmente concebido em meados da década de 60, tratando das atividades de suporte e manutenção dos sistemas de defesa.

De acordo com Shukla *et al.*, (2014), o nascimento da abordagem do IPS trouxe outras partes interessadas também para o planejamento dos requisitos logísticos nas fases iniciais do desenvolvimento do produto. O IPS é um processo integrado e iterativo para o desenvolvimento de um produto e de uma estratégia de suporte para o mesmo produto. O IPS guia o processo da engenharia de sistemas a quantificar e reduzir o custo do ciclo de vida. Aproveitando os recursos existentes, o IPS otimiza o suporte funcional enquanto diminui os custos logísticos, tornando o sistema de suporte amigável. Além disso, fornece uma estrutura para uma evolução integrada dos manuais técnicos das aeronaves e da logística requerida para uma melhor disponibilidade e sustentabilidade dessas aeronaves.



O suporte integrado do produto por sua vez é o processo técnico e de gerenciamento pelo qual as atividades de suporte e os elementos do suporte são planejados, adquiridos, implementados, testados e providos no tempo correto e com um bom custo-benefício. Em síntese, o 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 suportado com rapidez, eficiência e economia ao longo de seu ciclo de vida previsto (BLANCHARD, 1998).

O IPS permite uma estimativa acurada do custo total do ciclo de vida de uma aeronave e dos custos associados com o nível de provisão, manutenção e requisitos logísticos. Além disso, pode auxiliar na condução de estudos para diferentes cenários operacionais avaliando o desempenho do sistema, identificando melhorias na manutenibilidade e disponibilidade e avaliando soluções alternativas de design para projetos seguintes (SHUKLA *et al.*, 2014).

Portanto, o objetivo do IPS é desenvolver soluções de suporte que otimizem a suportabilidade e custos enquanto atendem aos requisitos operacionais de desempenho do sistema (REBOUÇAS; ABRAHÃO, 2019 *apud* BLANCHARD, 2014). Essas soluções são agrupadas em 12 categorias chamadas elementos do IPS. De acordo com a ASD/AIA (2021), os elementos são:

- **Embalagem, manuseio, armazenamento e transporte:** Esse elemento representa as atividades relacionadas às operações logísticas e cobre uma gama de tarefas que não podem ser designadas a uma área da operação direta ou da manutenção da aeronave. No entanto, essas tarefas podem ser muito importantes para o uso adequado da aeronave. Entre as atividades que suportam o manuseio e o uso da aeronave estão as precauções com segurança, preparação para uso, manutenção, carregamento e descarregamento, reboque, alteração de função, desenvolvimento, recuperação do produto, entre outras;
- **Manutenção:** Esse elemento estabelece os conceitos e requisitos de manutenção para todo ciclo de vida da aeronave e possui um impacto maior no planejamento, desenvolvimento e aquisição de outros elementos de suporte à aeronave. O objetivo da manutenção é identificar, planejar, suprir e

implementar os conceitos e requisitos de manutenção assim como executá-la garantindo o melhor equipamento/capacidade possível a um custo acessível;

- **Gerenciamento do Suporte:** Consiste na elaboração do conceito de suporte, do plano IPS e no relatório de obsolescência. Dessa forma, a criação dos requisitos operacionais, requisitos de uso e o gerenciamento da frota estão entre as atividades executadas por esse elemento. O objetivo nesse elemento é realizar a integração de todos os elementos do IPS para garantir que a capacidade da aeronave seja expressada em termos de prontidão (disponibilidade) e custos ao longo do ciclo de vida;
- **Suprimentos:** O objetivo desse elemento é planejar, suprir e implementar ações de gerenciamento para adquirir peças de reposição, o reparo das peças e todas as classes de suprimentos, garantindo que a melhor capacidade esteja disponível para suportar no menor custo possível no ciclo de vida da aeronave. Essas atividades significam ter as peças de reposição necessárias, peças reparadas e suprimentos disponíveis na quantidade e qualidade correta, no lugar e momento exato a um custo acessível;
- **Recursos Computacionais:** O objetivo desse elemento é identificar, planejar e suprir instalações, hardware, software, documentação e pessoal necessário para o planejamento e gerenciamento da missão crítica de hardware de computador e/ou sistemas de software da aeronave;
- **Influência no Design:** Participação no processo de engenharia de sistemas a fim de influenciar o design desde o início para facilitar a suportabilidade. Além disso, a participação no processo visa otimizar o design para garantir disponibilidade, eficácia e um custo acessível ao longo do ciclo de vida da aeronave. A influência no design representa a integração entre as características quantitativas da engenharia de sistemas com os elementos funcionais do IPS. Isso reflete em um relacionamento direcionado entre os parâmetros do design e os requisitos de suporte da aeronave;
- **Suporte Continuado de engenharia:** Responsável pelas análises e os diagnósticos de engenharia da aeronave no ambiente operacional, essa atividade inclui tarefas técnicas (análises e investigações de suporte e engenharia) que garantem a operação continuada e a manutenção da aeronave

até a fase de descarte. Esse elemento também possui as atividades de identificação, revisão, avaliação e resolução das deficiências da aeronave por todo o ciclo de vida, de tal forma que a retorne para configuração e capacidade iniciais enquanto identifica oportunidades de melhorias na capacidade e na performance;

- **Dados Técnicos:** São informações gravadas, independentemente da forma ou método de registro, de natureza científica ou técnica. O objetivo desse elemento é identificar, planejar, validar, suprir e implementar ações para desenvolver, adquirir e manter informações e dados técnicos sobre a aeronave e as operações. No entanto, não inclui software de computador ou contratos de administração, de finanças e de gerenciamento de informação;
- **Instalações e Infraestrutura:** Consiste nas propriedades ou instalações necessárias para integrar, suportar e operar a aeronave. Isso inclui estudos para definir o tipo de instalação ou melhorias nas instalações, a localização, necessidades no espaço, requisitos ambientais e de segurança e equipamentos. Devido ao potencial para prazos longos para financiamento, aquisição e construção, fazer o planejamento das instalações e de infraestrutura deve ser considerado o mais cedo possível no ciclo de vida da aeronave;
- **Mão de Obra e Pessoal:** O objetivo desse elemento é identificar, planejar suprir pessoas com as qualificações e habilidades necessárias. Dessa forma, ser capaz de operar equipamentos e a aeronave para completar de forma eficiente as missões e suportar as operações. Além disso, prover suporte adequado de tal forma que garanta que a melhor capacidade está disponível quando é necessário;
- **Equipamento de Suporte:** O objetivo desse elemento é identificar, planejar, prover e implementar ações de gerenciamento para adquirir equipamento de suporte (móvel ou fixo) necessário para sustentar a operação, a manutenção e suprir a aeronave, garantindo que esteja disponível ao usuário quando for necessário e com um menor custo no ciclo de vida;
- **Treinamento:** O objetivo desse elemento é identificar, planejar e prover treinamento, além de implementar uma estratégia de treinamento e treinar o pessoal para operar, manter e suportar a aeronave por todo o ciclo de vida a

afim de garantir performance e prontidão à frota. Entre as atividades presentes nesse elemento, tem-se a análise dos equipamentos necessários para realizar os treinamentos, a provisão desses equipamentos, desenvolver um plano de treinamentos e executá-lo.

Dentre os elementos que compõem o IPS, o gerenciamento de suporte consiste na elaboração do conceito e de um plano de suporte integrado para aeronave (ASD/AIA, 2021).

O gerenciamento do suporte ao produto representa a base do IPS como mostra **Figura 1**, uma vez que ao desenvolver o conceito de suporte leva em consideração todos os demais elementos para que o suporte seja executado no tempo certo e de forma correta. Entre as atividades executadas por essa função está o gerenciamento da frota. Portanto, um dos objetivos do gerente de suporte é a sugestão de estratégias de dimensionamento da frota para um funcionamento da operação por meio de uma visão sistêmica do IPS. Nessa função também está a tarefa diária de determinar a quantidade de aeronaves que vão operar, garantir a disponibilidade das mesmas e a configuração adequada de cada uma para executar a operação. Isso significa que a necessidade operacional deve estar ligada com a capacidade de suporte e todas as outras atividades relacionadas ao IPS. No entanto, quando ocorre qualquer mudança na maneira como as aeronaves são operadas e suportadas, o gerenciamento da frota também será afetado e ajustes no dimensionamento da frota podem ser necessários.

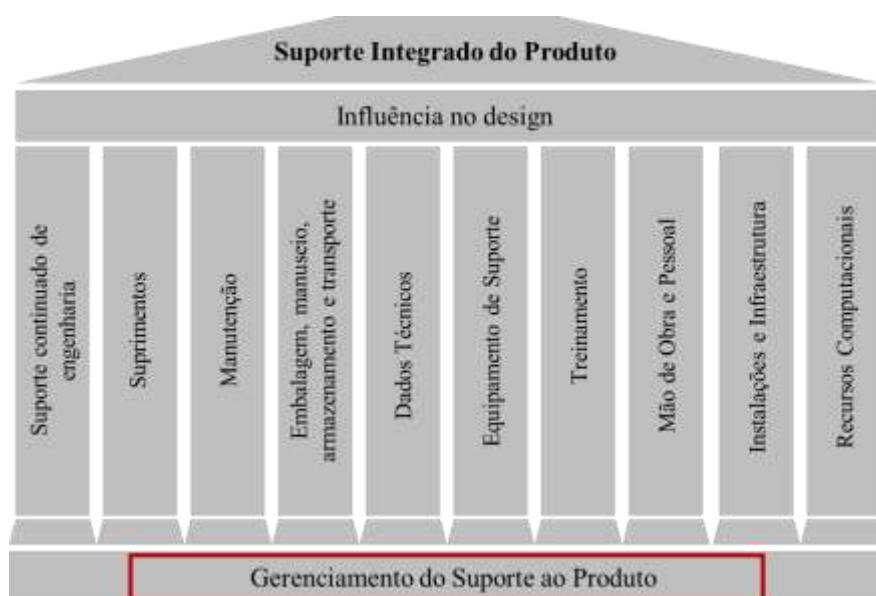


Figura 1 – Elementos do suporte logístico integrado (Adaptada de FLOYD; REYES, 2014).

A gestão dos contratos que envolvem a frota é outra função executada pelo gerenciamento do suporte ao produto. De acordo com a ASD/AIA (2021), deve-se garantir a conformidade e a execução dos contratos existentes. Dessa forma, os contratos de arrendamento devem ser seguidos e os termos acordados para a fase de reentrega, no final do contrato, levados em consideração no gerenciamento do suporte ao produto durante todo o período de operação.

O suporte continuado de engenharia é outro importante elemento do IPS, pois realiza as análises e os diagnósticos de engenharia no ambiente operacional e, no ciclo de vida, é uma funcionalidade chave para frota, pois o objetivo é maximizar a prontidão por meio da entrega de um suporte à aeronave que seja desejado e a um custo acessível.

De acordo com a ASD/AIA (2021), dentro das atividades do suporte continuado de engenharia estão inclusas tarefas técnicas, como investigações e análises de engenharia e de suporte, que garantem a operação e manutenção continuada da aeronave até o descarte. Entre outras atividades, envolve também a identificação, revisão, avaliação e resolução das deficiências por todo o ciclo de vida da aeronave. Dessa forma, o produto retorna para a configuração e capacidade inicial, enquanto identifica oportunidades de melhoria na performance e na suportabilidade. Isso inclui a medição, identificação e verificação das deficiências técnicas e de suportabilidade da aeronave, análises da causa raiz associada, avaliação do potencial de correção da deficiência e o desenvolvimento de uma variedade de opções de ações corretivas. O suporte continuado de engenharia inclui como atividade também a implementação de ações corretivas selecionadas para a inclusão de processos de configuração ou manutenção e o monitoramento das principais métricas de desempenho da frota.

De acordo com o manual DOD (2005), na aviação, a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (do inglês *reliability, availability and maintainability* – RAM) são métricas de desempenho essenciais para medir a capacidade da missão de uma aeronave em operação. A confiabilidade é a probabilidade de uma aeronave ou uma frota executar uma função requerida de acordo com as condições declaradas por um período de tempo específico. A disponibilidade é a medida do grau no qual uma aeronave ou uma frota está em um estado de operação e pode estar comprometido a começar uma missão quando a missão é requerida a qualquer momento. A manutenibilidade é a habilidade de um item ser retido em ou restaurado para uma condição específica quando a manutenção é executada por mão de obra com as qualificações específicas e usando

procedimentos e recursos prescritos, em cada nível de manutenção e reparo prescrito (DOD, 2005).

Muitos fatores são importantes para atingir as métricas de RAM, como o design da aeronave, qualidade da fabricação, o ambiente no qual a aeronave vai ser transportada, manipulada, armazenada e operada, como também o desenvolvimento do sistema de suporte, o nível de treinamento e qualificação das pessoas operando e fazendo a manutenção, a disponibilidade do material requerido para reparar, diagnósticos de ajuda e ferramentas disponíveis. Portanto, entende-se que para atingir de forma satisfatória as métricas de desempenho, as atividades dos elementos do IPS devem ser executadas de forma eficaz e no tempo correto.

Atingir os níveis específicos de RAM é muito importante por diversas razões, especificamente pelo efeito que tem na prontidão, segurança da aeronave, sucesso da operação, custo total da aeronave e no suporte logístico (DOD, 2005).

As características de desempenho desejadas de um sistema de suporte de uma aeronave são designadas como os requisitos dessa aeronave. Dessa forma, os indicadores de desempenho são derivados dos requisitos da aeronave de tal forma que podem gerar resultados capazes de medir a performance da mesma. Com relação aos indicadores de desempenho, a ASD/AIA (2021) traz que o desempenho do sistema de suporte mede o grau no qual o programa de suporte a aeronave atinge ou demonstra a habilidade de atingir seus objetivos nas condições esperadas. A utilização de indicadores de desempenho corretos no sistema de suporte pode ter um impacto significativo na busca por alcançar os objetivos de suportabilidade e custos no ciclo de vida da aeronave.

De acordo com a ASD/AIA (2021), existem algumas métricas utilizadas para medir o desempenho do sistema de suporte de uma frota de aeronaves. Essas métricas estão listadas na **Tabela 4**, divididas em oito categorias e relacionadas aos 12 elementos do IPS.

Tabela 4 – Métricas utilizadas para medir o desempenho do sistema de suporte de uma frota de aeronaves (ASD/AIA, 2021).

<b>Categoria</b>	<b>Métrica</b>
Custo-benefício	Rentabilidade
	Custo do ciclo de vida
	Custo de operação e suporte
	Custo total de propriedade
Disponibilidade/Prontidão	Disponibilidade atingida
	Tempo de indisponibilidade
	Disponibilidade inerente
	Disponibilidade da instalação de manutenção
	Disponibilidade de material
	Capacidade da missão
	Manutenção não compatível com as missões
	Missões não capacitadas
	Suporte não compatível com as missões
	Disponibilidade operacional
	Eficácia geral do equipamento
	Capacidade parcial da missão
	Manutenção capaz de missão parcial
	Suprimento capaz de missão parcial
	Disponibilidade de pessoal
	Taxa de geração de saída
	Disponibilidade de peças de reposição
Disponibilidade de equipamento de suporte	
Manutenibilidade	Tempo de atraso administrativo
	Grupo de ambiguidade
	Taxa de falhas não detectadas
	Falhas isoladas
	Tempo de indisponibilidade de manutenção
	Taxa de manutenção
	Tempo máximo de reparo
	Tempo médio de indisponibilidade da manutenção ativa
	Tempo médio de manutenção corretiva
	Tempo médio de indisponibilidade
	Tempo médio de manutenção preventiva
	Tempo médio entre manutenções
	Tempo médio entre ações de manutenções
Tempo médio entre manutenções programadas	
Tempo médio entre manutenções não programadas	

Tabela 4 – Métricas utilizadas para medir o desempenho do sistema de suporte de uma frota de aeronaves (ASD/AIA, 2021). (cont.).

<b>Categoria</b>	<b>Métrica</b>
	Tempo médio entre manutenções preventivas
	Tempo médio de reparo
	Porcentagem de manutenção programada
	Eficácia da manutenção preventiva
	Conformidade da manutenção preventiva
	Tempo de manutenção programada
	Tempo da aeronave em solo
	Tempo de manutenção não programada
Confiabilidade	Confiabilidade inerente
	Confiabilidade do material
	Tempo médio entre interrupções
	Tempo médio entre falhas
	Tempo médio entre falha crítica na missão
	Tem médio até falhar
	Confiabilidade da missão
Confiabilidade	
Suprimentos	Tempo de espera do cliente
	Prontidão do material;
	Tempo de ciclo do pedido
	Taxa de atendimento
	Taxa de pedido em espera
	Eficácia do tempo de resposta
	Nível de estoque
Eficácia do suprimento	
Supportabilidade	Tempo médio de atraso logístico
Transporte	Prazo de entrega
Treinamento	Eficácia de treinamento

Os elementos do IPS são fundamentais para medir o suporte e o desempenho operacional em uma operação aérea. Cada um desses elementos tem implicações específicas nas métricas de desempenho. Com relação à mão de obra, se houver a necessidade de profissionais altamente especializados, os custos de contratação e treinamento podem ser mais elevados, além de ser necessário um período mais longo de aprendizado, impactando diretamente nos custos operacionais. No que diz respeito aos materiais necessários para a realização das manutenções na aeronave, a falta deles pode



resultar em indisponibilidade da aeronave, afetando a operação. Esse problema tornou-se especialmente desafiador no cenário pós-pandemia, com a maioria das operadoras aéreas, incluindo a Gol, enfrentando dificuldades na cadeia de suprimentos e tendo grande parte das tarefas de manutenção diferidas devido à falta de material (cerca de 50%). Além disso, tem-se o suporte continuado de engenharia, no qual a capacidade de avaliação e diagnóstico desempenha um papel muito importante na operação. A eficiência na gestão da manutenção também pode afetar diretamente a disponibilidade das aeronaves. Em resumo, cada elemento do IPS apresenta desafios e oportunidades específicas para a operação aérea. A mão de obra especializada, a disponibilidade de materiais e equipamentos de suporte, assim como o suporte de engenharia e o gerenciamento da manutenção, todos têm um impacto significativo na eficiência e disponibilidade da frota de aeronaves. Uma gestão estratégica e eficaz desses elementos é essencial para garantir o bom desempenho operacional e a máxima disponibilidade das aeronaves.

Os indicadores de desempenho mais utilizados para um sistema de suporte são a disponibilidade e o custo do ciclo de vida (ASD/AIA, 2021). A disponibilidade operacional pode ser considerada como a porcentagem do tempo em que uma aeronave ou uma frota de aeronaves está operacionalmente capaz de realizar uma missão designada e/ou também como a probabilidade de uma aeronave ou de um componente da aeronave realizar a sua função requerida em um determinado ponto no tempo ou durante um determinado período. A disponibilidade operacional pode ser calculada pela razão entre o tempo disponível e a soma do tempo disponível com o indisponível, podendo ser considerado para cálculo apenas uma aeronave ou toda a frota, como mostra a Equação (1).

$$Ao = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Tempo disponível} + \text{Tempo indisponível}} \quad (1)$$

O custo do ciclo de vida pode ser considerado como todos os custos diretos e indiretos de uma aeronave/frota ao longo de toda a sua vida, desde a entrada em operação até o descarte, incluindo custos com pesquisa e desenvolvimento, investimentos, operação e suporte e custos de descarte. De acordo com a ASD/AIA (2021), o custo do ciclo de vida pode ser calculado de acordo com a Equação (2).

$$LCC = (\text{Custos iniciais de capital} + \text{Custos operacionais projetados ao longo da vida} + \text{Custos de manutenção projetados ao longo da vida} + \text{Custos projetados de reabilitação de capital} + \text{Custos projetados de descarte} + \text{Valor residual projetado}) \quad (2)$$

Uma vez que o IPS visa otimizar o custo do ciclo de vida, a performance da aeronave e seu sistema de suporte, as métricas de disponibilidade e custo do ciclo de vida podem ser utilizadas para avaliar o gerenciamento do suporte à frota durante a operação e conseqüentemente determinar os ajustes necessários para que, ao final de um contrato de arrendamento, as aeronaves sejam devolvidas de acordo com os termos acordados e sem grandes prejuízos financeiros ao operador.

#### **2.1.4 Simulação, Modelagem e Otimização de Estoque e da Disponibilidade da Frota**

Segundo Ramírez e Anguiano (2023), simulação é o método pelo qual um sistema real pode ser representado com um modelo para obter novas informações sobre as características e comportamento do sistema, quando os problemas no mundo real são muito complexos para modelar com uma fórmula matemática. No entanto, os esforços computacionais para simulação são maiores do que a otimização (MOLNAR, 2005) por causa dos grandes números de cenários alternativos que devem ser avaliados simulando-os e medindo seu desempenho (LEE, 2015). Por outro lado, o método de otimização é focado em encontrar uma solução ótima que melhor satisfaça a função objetiva cujo objetivo é minimizar ou maximizar a variável de interesse que está sujeita a restrições especificadas. Isso significa que o processo será aprimorado tantas vezes quanto possível até que o valor ótimo da variável de interesse seja encontrado.

A eficiência da simulação baseada em otimização para a tomada de decisão depende da formulação e entendimento corretos do problema, mas o que leva a identificar que o principal problema é a definição e compreensão de todo o sistema, incluindo elementos do ambiente, elementos do próprio sistema e todas as interações entre eles. Quando essas interações já estão identificadas é preciso definir se o sistema se comporta como um sistema e avaliar se pode se transformar em um complexo sistema adaptativo. Por isso é tão importante que o processo da modelagem do sistema seja realizado de forma correta e precisa. É importante modelar não apenas os elementos do sistema, mas suas interações e comportamento diante de qualquer possível perturbação causada pelo ambiente para facilitar a modelagem, previsão e comparação de cenários (RAMÍREZ; ANGUIANO, 2023).

Modelagem e otimização são ferramentas úteis que representam o comportamento do sistema de interesse quando parâmetros críticos são modificados e, quando os

experimentos de otimização não podem ser feitos diretamente no campo. Dessa forma, é necessário a seleção correta do método a ser utilizado. Normalmente, otimização é usada para reduzir o número de cálculos necessários para simular cada cenário possível, mas a simulação desempenha um papel importante quando a informação não é suficiente e quando a implementação das possíveis soluções possui um custo maior do que representar o sistema e as possíveis soluções com um modelo (RAMÍREZ; ANGUIANO, 2023).

O pacote de softwares escolhido para a realização da modelagem e otimização é uma ferramenta que suporta a tomada de decisão baseada em dados em todas as fases do ciclo de vida de um sistema. Esses softwares possuem a capacidade chave no desenho de uma solução de apoio logístico, na avaliação das propriedades logísticas de um sistema, ou na comparação de diferentes soluções de suporte ou sistemas técnicos.

O primeiro software utilizado é o OPUS©. Essa ferramenta apresenta uma otimização estratégica do custo-benefício de conceitos de manutenção, peças sobressalentes e suporte logístico para uma frota de aeronaves. O OPUS© foi escolhido pois oferece uma decisão de suporte ao comparar sistemas alternativos, configurações ou soluções de suporte. Dentro da ferramenta é possível modelar as seguintes informações:

- Componentes reparáveis e itens descartáveis/reordenados, bem como componentes ora reparados ora descartados;
- Manutenção programada e não programada;
- Cenários com fases de tempo em que os sistemas são gradualmente introduzidos ou eliminados;
- Soluções de suporte específicas do item;
- Estruturas de divisão de produtos com base física ou de manutenção em diferentes níveis de criticidade para componentes;
- Múltiplos requisitos de otimização por exemplo localização, unidade ou tipo de sistema.

O caso a ser analisado é descrito no modelo OPUS©, que se baseia em tabelas que são utilizadas de forma flexível dependendo, por exemplo, da complexidade e do nível de detalhamento desejado. O software permite uma visualização do modelo com uma visão geral, juntamente com uma representação gráfica do sistema técnico e sua estrutura de produto, bem como a solução de suporte logístico. A partir da otimização, um gráfico

da eficiência dos custos é gerado. Com o cenário descrito, uma série de pontos de solução é gerada, mostrando a máxima eficiência alcançável do sistema em diferentes orçamentos.

Neste caso, é importante destacar que o software OPUS©, utilizado para o cálculo das curvas de máxima efetividade possui como base matemática do modelo analítico as técnicas conhecidas como METRIC e VARI-METRIC (do inglês *multi-echelon technique for recoverable item control*), formulada por Sherbrooke (2004) 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. A técnica METRIC foi a primeira aplicação prática de técnicas de inventário multi-escalon e formou a base teórica para vários modelos usados pelos serviços militares dos Estados Unidos e seus aliados, bem como por várias empresas privadas.

Segundo Figueiredo *et al.*, (2019), o modelo de múltiplos escalões trabalha com a seguinte metodologia: no caso da falha em um componente, ele é retirado da aeronave e verificado o reparo na base, enquanto isso, é solicitado um sobressalente para o próprio estoque. Se existir o item no estoque da base, ele será atendido e a aeronave ficará disponível. Caso contrário, a existência do pedido de material representará a quantidade de itens faltantes na frota e, a essa ordem em aberto, dá-se o nome de *Backorder* (BO). O pedido só será atendido no caso da chegada do mesmo no estoque, seja por reparo na própria base - caso isso seja possível - após o item ter sido reparado em lugar específico para isso ou da entrega de outro, enviado do estoque central. Dessa forma, o modelo de múltiplos escalões é capaz de calcular o nível de estoque ótimo nas bases e armazém, para cada item. O BO na base que irá causar a indisponibilidade e, assim, o objetivo do modelo é obter o menor valor esperado dessas ordens, ou seja, minimizar a quantidade esperada de *backorder* (EBO) (SHERBROOKE, 2004). A formulação da base matemática do METRIC segue as seguintes funções:

- Função objetivo: 
$$\min \sum_{i=1}^I EBO_{s_i} \quad (3)$$

Ou seja, minimizar o somatório da expectativa da quantidade de *backorder* de todos os itens e em todas as bases.

- Sujeito à restrição orçamentária: 
$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I c_i s_{ij} \leq \text{Orçamento} \quad (4)$$

- J = Bases; e I = itens.

O MOD-METRIC foi desenvolvido por Muckstadt (1973) e estende o conceito do METRIC considerando a importância logística da hierarquia entre os itens. Dessa forma, os itens maiores são trocados na linha de operação, chamados assim de LRU (*line replaceable unit*). Esses componentes podem ser compostos por subitens, chamados de SRU (*shop replaceable units*). Os SRUs são normalmente substituídos em níveis superiores de manutenção.

O VARI-METRIC se difere do modelo matemático METRIC pela forma de cálculo da quantidade de *backorder* esperado. Foi publicado por Sherbrooke em um artigo em 1986 e representa um modelo de segunda ordem pois incorpora dois parâmetros: a média e a variância da quantidade de itens no *pipeline* e, sendo assim, como resultado o cálculo da quantidade de *backorder* esperada é mais preciso. O METRIC assume que o número de itens no *pipeline* segue uma distribuição de Poisson, enquanto que o VARI-METRIC por sua vez assume que o número de unidades de um certo item em reparo ou ressurgimento a qualquer tempo pode ser aproximada por uma distribuição binomial negativa.

No estudo de Graves (1985), o autor conduziu vários testes e descobriu que o METRIC geralmente subestima a quantidade de *backorders* esperada. O autor então realizou mais de 2.000 comparações entre os modelos e descobriu que a aproximação por binomial negativa produzia erros na alocação de peças de reposição em menos de 1% das vezes, enquanto o METRIC errava em quase 11% dos casos. No entanto, o uso do VARI-METRIC é uma técnica mais avançada e requer a necessidade do uso computacional, principalmente quando ocorre:

- Aumento da complexidade do problema;
- Grande número de variáveis;
- Diferentes níveis de manutenção;
- Diferentes hierarquias entre itens;
- Necessidade de avaliar diferentes cenários com rapidez;
- Grandes investimentos em jogo.

O problema é tratado em três frentes. A primeira é a frente do sistema, na qual tem-se uma estrutura hierárquica de cada aeronave. Dessa forma, realiza-se a descrição detalhada de seus sistemas e subsistemas até chegar aos componentes. A segunda frente trata-se do suporte logístico em si. Nessa frente, descreve-se toda a estrutura

organizacional que presta suporte a essa frota de aeronaves que foi descrita na primeira frente. Assim, é possível descrever desde as estruturas que estão mais próximas à operação quanto as que centralizam esses serviços dentro do circuito logístico e a relação entre elas. Por fim, a terceira frente trata a operação. Nessa frente de operação, descreve-se o perfil operacional, ou seja, como a operação daquela frota se comporta ao longo do tempo. Além disso, a análise no OPUS© considera os seguintes pontos:

- Otimização sistêmica;
- Estrutura hierárquica de produto para o sistema;
- Arquitetura de suporte logístico por organização;
- Parâmetros de utilização/operação do sistema;
- Plano de manutenção do sistema;
- Taxa de falhas de cada item componente do sistema;
- Custos envolvidos em todos os eventos.

Para a modelagem do sistema, do suporte logístico e da operação utilizou-se os seguintes dados de entrada:

- Lista completa de componentes;
- Preço e taxa de falha por item;
- Tempo de reparo médio por item;
- Quantidade e localização das aeronaves;
- Nível de utilização das aeronaves (horas de voo);
- Tempo de transporte entre as organizações que compõem a estrutura logística.

Um ponto de solução foi selecionado com base nos requisitos de eficiência determinado para o estudo de caso. A solução otimizada por trás do ponto foi examinada na exibição de tabela. Na terceira instância, ao tentar sugerir um tamanho ideal de uma frota dentro do range analisado, visando diminuir os custos e aumentar a disponibilidade ao mesmo tempo que atende aos protocolos da fase de reentrega, gerou-se uma curva da eficiência dos custos para diferentes cenários no mesmo gráfico, assim sua eficiência de custo pôde ser comparada lado a lado.

O segundo software utilizado foi o SIMLOX. O SIMLOX é um simulador de suporte que utiliza os resultados de OPUS© para criar um cenário do suporte integrado do produto. Também é um software que programa aplicando o conceito de Modelagem e Simulação para análise do suporte logístico e do produto integrado. Além disso, suporta outras funções, como simulação baseada em tempo para um modelo de suporte, análise de custo-efetividade e análise de alternativas. Essa ferramenta simula e garante a capacidade de uma frota de sistemas e sua solução de suporte em atender aos objetivos operacionais. Por possuir um modelo abrangente, o software permite a representação de “gêmeo digital” do sistema, da operação e do suporte. Com a realização de simulações rápidas e realistas, foi possível rever qual o desempenho e ao mesmo, realizou-se a tentativa de maximizá-lo ajustando a solução de design do sistema e de suporte logístico.

Escolheu-se utilizar o SIMLOX – uma das ferramentas de software do Opus Suite pois por meio dela é possível garantir o desempenho necessário para os sistemas técnicos analisados. Além disso, foi possível personalizar a solução para máxima disponibilidade e capacidade. Além da personalização da solução, foi possível antecipar possíveis problemas e testar medidas que pudessem evitá-los. Com esse software foi possível dimensionar os recursos para garantir a concretização das operações analisadas. Após a simulação realizada no software, foi possível visualizar como a disponibilidade e a utilização da frota se comportam ao longo do tempo. Essa visualização foi feita observando toda a organização e mais detalhadamente por certos sistemas e recursos.

O terceiro software utilizado nos testes foi o CATLOC. Como dados de input nessa ferramenta, utilizou-se o resultado da modelagem do OPUS© no ponto de disponibilidade selecionado como referência e os dados da simulação realizada no SIMLOX. O CATLOC prevê custos e receita para sistemas técnicos durante seu ciclo de vida (ou qualquer outro período de tempo), ao mesmo tempo que estima as consequências econômicas das principais decisões sobre o projeto do sistema, operações e apoio à Logística. Para este trabalho, utilizou-se a visão dos custos ao longo dos períodos analisados. Os custos podem ser analisados em nível agregado ou com mais detalhes, e distribuído ao longo de, por exemplo, tempo, localização, equipamentos ou tarefas. É ideal para analisar os custos ao longo do ciclo de vida, ou um determinado período, os fatores que mais influenciam nos custos e o risco financeiro. Com essa ferramenta, foi possível verificar os custos distribuídos ao longo do tempo, entre componentes, recursos e atividades de manutenção.

## 2.2 Pesquisa do Estado da Arte no Tema e Identificação de Lacunas

Um dos propósitos desta tese é recolher informação da literatura existente e do conhecimento de especialistas na área de suporte logístico integrado e arrendamento de aeronaves para identificar as diferentes categorias e abordagens no processo de devolução da aeronave que podem envolver o suporte integrado do produto, recorrendo à modelagem e otimização.

O trabalho de Westervlier (2021) traz os desafios enfrentados pelo arrendamento de aeronaves desde o surgimento desse modelo de negócio em meados de 1970 até o seu rápido crescimento nos últimos 50 anos. Hoje, aproximadamente 50% de todas as aeronaves comerciais estão sujeitas ao arrendamento operacional e o autor considera que o risco é o aspecto mais preocupante no negócio. No entanto, a convenção internacional de Cape Town reduziu esses riscos e trouxe mais segurança para o negócio, especificamente para os proprietários das aeronaves. Dessa forma, ao estudar a fundo as fases que compõem o processo de arrendamento, ele traz que as condições de retorno podem causar disputas sérias entre o arrendador e o arrendatário. Por meio de uma revisão bibliográfica, o autor traz a complexidade e as diferenças encontradas nos contratos de arrendamento e a possibilidade de abertura para diversas interpretações e discussões que esses acordos possuem. Sendo assim, ressalta que o arrendamento de aeronaves poderia se beneficiar de uma maior harmonização e padronização desses contratos, em específico a harmonização nos protocolos de reentrega deveriam ganhar mais atenção. No entanto, com relação a uma abordagem pelo gerenciamento do suporte e operação das aeronaves para um melhor atendimento aos protocolos de reentrega não foram mencionados pelo autor.

No processo de devolução de aeronaves, o trabalho dos autores Pratiwi *et al.*, (2021) traz que as empresas de MRO geralmente sofrem atrasos na conclusão da manutenção e reparo da aeronave antes de serem entregues ao arrendador (proprietário da aeronave). Os autores realizaram um estudo para analisar as causas do risco com uma abordagem sistemática de gerenciamento de risco. O estudo de avaliação de risco refere-se à ISO 31000, que consiste em 4 etapas: identificação da causa do risco, classificação da causa do risco, análise e avaliação do risco e identificação do tratamento do risco. A causa raiz e a análise de Pareto também foram utilizadas para ajudar a fortalecer a análise e a tomada de decisão. Este estudo foi realizado em uma das empresas de MRO na



Indonésia. A partir de um estudo de sete casos de atraso na entrega de aeronaves entre 2001-2017, os autores descobriram que a causa dominante do risco estava atrasada na tomada de decisões sobre novas descobertas da condição da aeronave, má gestão de dados, mau planejamento do sistema, disponibilidade de materiais e mão de obra e má qualidade do trabalho de manutenção. O trabalho apresenta a importância de um bom planejamento do sistema, da operação e do suporte de uma frota por meio do estudo de avaliação do risco, no entanto não traz um método para ser utilizado na operação e no suporte que possa mitigar esse atraso na fase de reentrega.

O trabalho realizado pelos autores Ferreira *et al.*, (2020) traz um roteiro de como fechar a lacuna entre estratégia e resultado quando se trata do arrendamento de aeronaves e do gerenciamento dos custos no ciclo de vida. Este estudo utilizou uma plataforma on-line de pesquisa para determinar a necessidade de utilização de uma metodologia de gestão para lidar com as necessidades decorrentes de um contrato de arrendamento de aeronaves, em especial, os temas do término de contrato e o processo de retorno de aeronaves arrendadas. As metodologias utilizadas foram os conceitos de gestão encontrados no *Project Management Body of Knowledge (PMBok)* e a metodologia proposta pela Associação Internacional de Transportadoras Aéreas (IATA – em inglês). O estudo propõe recomendações, baseadas em requisitos e nas experiências identificadas através da pesquisa on-line e de metodologias de gestão que melhor respondem a estas necessidades. Como produto do estudo, os autores citam cinco recomendações gerais que devem ser observadas por todas as partes envolvidas num contrato de arrendamento de aeronaves para que sejam evitados atrasos e obrigações fiscais não-antecipadas ao final do mesmo. O autor menciona a importância do gerenciamento do custeio no ciclo de vida de uma frota de aeronaves, no entanto não apresenta uma abordagem sistêmica utilizando os elementos do suporte integrado do produto ou apenas um deles que possa influenciar na estratégia de como reduzir essa lacuna no momento de reentrega das aeronaves ao final de um contrato de arrendamento.

Considerando a alta probabilidade de ocorrência de diversas causas que levam a um processo oneroso de devolução de uma aeronave ao seu proprietário, a pesquisa do autor Campagnon (2020) aborda os principais problemas encontrados durante a fase de reentrega. Essa análise está diretamente ligada ao entendimento dos cenários da aviação comercial e do processo de arrendamento por uma perspectiva maior. Até o momento da publicação, não havia sido considerado nas publicações científicas as questões associadas

ao retorno de uma aeronave e também não foram abordadas em nenhum artigo revisado, com exceção de Burhani *et al.*, (2016), que analisaram documentações de aeronaves e propuseram um modelo de conformidade para auxiliar na entrega de aeronaves em um processo de arrendamento. Dessa forma, o trabalho do autor Campagnon (2020) desenvolve um modelo prescritivo especificando as categorias mais significativas de problemas, que ocorrem ao longo dos processos de reentrega e no qual o fabricante de aeronaves (OEM) pode atuar como um facilitador – especialmente considerando uma estrutura estratégica com custo e tempo limitado. Para isso, recorre-se aos métodos de análise de conteúdo e ao método Delphi. A pesquisa realizada por Campagnon (2020) é o principal referencial teórico utilizado nesse trabalho.

A falta de literatura científica sobre como a forma de condução do gerenciamento da frota do ponto de vista da sua suportabilidade pode implicar uma degradação significativa na saúde dos ativos (aeronaves arrendadas) a ponto de comprometer o processo de reentrega e seus custos relacionados justifica um maior desenvolvimento sobre o assunto. Dessa forma, essa tese apresenta uma abordagem por meio da modelagem do suporte logístico integrado de uma frota de aeronaves arrendadas e, a partir dessa modelagem, avalia o impacto da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento. Nesse contexto, o presente trabalho abrange como tema a aplicação de modelagem e otimização do gerenciamento da frota, considerando o maior espectro possível de elementos do suporte integrado do produto, para viabilizar que o sistema atenda aos requisitos operacionais. A partir da modelagem, realiza-se a otimização do desempenho logístico da frota em métricas de disponibilidade e custos de suporte para atender a dois diferentes protocolos na fase de reentrega nos contratos de arrendamento.

Apesar da grande variedade de aplicações da modelagem matemática preditiva para simulação e previsão de demanda em operações aéreas, não foi encontrada na literatura nenhuma produção científica tratando especificamente sobre operações aéreas e contratos de arrendamento. No entanto, métodos de otimização, técnicas de simulação e modelos econométricos são frequentemente empregados no gerenciamento operacional e logístico das frotas de aeronaves, conforme descritos na seção anterior.

O custeio do ciclo de vida é uma abordagem de gerenciamento dos custos dos ativos físicos com o objetivo de otimizar seu valor pelo dinheiro e pelas despesas durante

a vida operacional. O custo do ciclo de vida é uma abordagem de tomada de decisão que considera uma perspectiva de longo prazo sobre os investimentos, em vez de um ensaio de economia de dinheiro em curto prazo (WOODWARD, 1997). Ele permite que uma decisão seja tomada em torno de uma abordagem holística e uma análise de cenário mais abrangente, representando uma visão geral de investimento mais custo-benefício e de longo prazo.

Compreender este conceito e aplicá-lo ao arrendamento de aeronaves é crucial para abordar os indicadores mais relevantes de custos não estimados ou imprevistos na fase de reentrega (IATA, 2015). Cerca de 72% dos atrasos na entrega são devidos a trabalhos subestimados e reparos não programados que poderiam ser melhor tratados com uma abordagem mais holística do processo e dos custos. Pode-se argumentar que os cronogramas de reparo adiados e a falta de planejamento de manutenção durante o uso e as operações da aeronave podem afetar gravemente uma data posterior.

Com relação a disponibilidade, a NBR 5462 enuncia o conceito de disponibilidade como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, estando os recursos externos necessários assegurados (WUTTKE; SELMITTO, 2008). E como mencionado anteriormente na seção do suporte integrado do produto a disponibilidade operacional pode ser calculada pela razão entre o tempo disponível e a soma do tempo disponível com o indisponível, podendo ser considerado para cálculo apenas uma aeronave ou toda a frota.

Por meio da revisão da literatura, entende-se que existe uma lacuna sobre uma abordagem por meio da modelagem do suporte integrado de uma frota de aeronaves arrendadas a fim de avaliar o impacto da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas em reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento. A revisão da literatura de forma sintetizada pode ser observada na **Tabela 5**. Sendo assim, a principal hipótese desse trabalho é que se diferentes estratégias de gerenciamento do suporte fossem modeladas, do ponto de vista de sua relação custo-benefício, para o período de arrendamento de aeronaves, então seria possível ter visibilidade e entendimento de qual a melhor decisão do ponto de vista de suporte e ritmo de utilização da frota durante o período de arrendamento a utilizada.



### 3 Materiais e Métodos

Esse capítulo apresenta a estratégia metodológica utilizada para a verificação da hipótese levantada e consubstanciada pela revisão da literatura e estudo do problema. A metodologia proposta neste estudo está sintetizada na **Figura 2** e descrita nos próximos parágrafos.

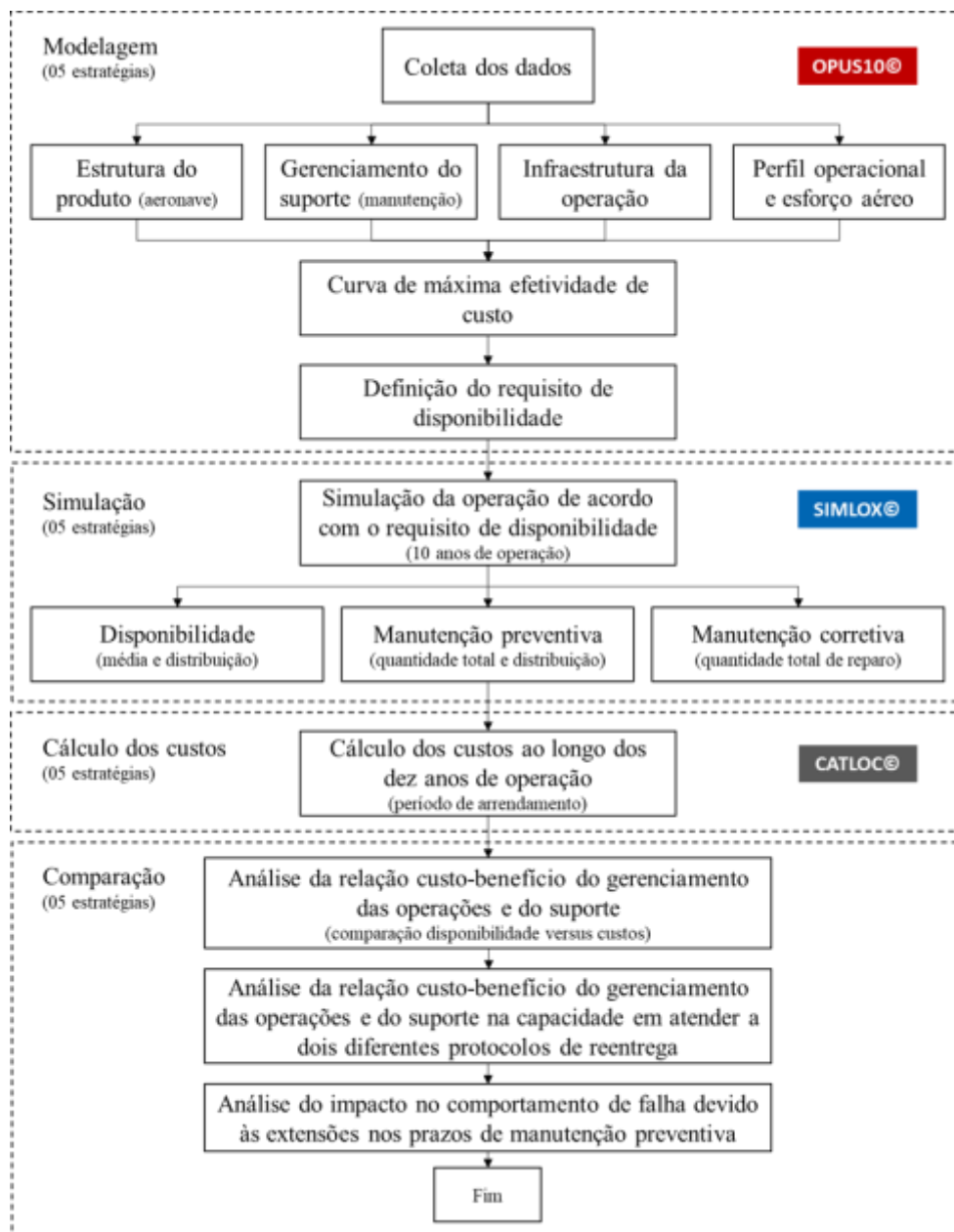


Figura 2 – Metodologia proposta neste estudo.

O trabalho inicia por meio da revisão da literatura para definição e estudo do problema. O problema são as dificuldades e complexidades no entendimento da relação

custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial. Sendo assim, a presente pesquisa se propõe a investigar primeiramente o processo de arrendamento de aeronaves, as fases que o compõem e os problemas encontrados na fase de reentrega. O ponto de partida da investigação do processo de arrendamento é por meio de uma revisão direta da literatura, considerando que os artigos podem fornecer informações valiosas sobre as fases específicas do processo. Em paralelo, a revisão da literatura traz exemplos de diferentes tipos de protocolos utilizados na fase de reentrega da aeronave assim como conceitos do suporte integrado do produto que serão utilizados para a modelagem da infraestrutura de suporte, da frota e da operação.

Após a revisão da literatura com relação a definição do problema, os métodos de solução, IPS, arrendamento e contratos, buscou-se entender os conceitos por trás das técnicas escolhidas para esse trabalho. Por meio da conexão entre os valiosos *insights* da literatura acadêmica, dos conceitos e dos métodos praticados, nesse estudo optou-se pela aplicação da modelagem e otimização, que são explicadas com mais detalhes no capítulo anterior.

A primeira fase foi a coleta dos dados para modelagem da estrutura do produto (aeronave), do gerenciamento do suporte à frota, da infraestrutura das operações, do perfil operacional e do esforço aéreo. Para a modelagem do gerenciamento do suporte à frota foram escolhidas cinco diferentes estratégias de execução das manutenções preventivas, que podem representar uma operação com diferentes ritmos de utilização (do exagerado ao padrão coerente) das aeronaves. A escolha das estratégias foi realizada com o objetivo de alcançar um melhor entendimento da relação custo-benefício de suporte em diferentes situações. Por exemplo, durante o período de alta temporada as companhias aéreas podem optar por adiar as manutenções preventivas ou parte delas para depois dos meses de férias escolares. No entanto, durante o período de baixa temporada podem optar por uma operação com um ritmo de utilização das aeronaves padrão coerente, realizando as manutenções sem utilização de extensão do prazo de execução das tarefas. Portanto, a estratégia 1 foi escolhida para representar uma operação em que ocorre uma utilização exagerada das aeronaves. A estratégia 2 também representa uma operação em que ocorre uma utilização exagerada da aeronave, no entanto em uma proporção menor que a estratégia 1. E dessa forma a estratégia 3, 4 seguem a mesma linha até a estratégia 5, que representa uma operação com utilização padrão coerente das aeronaves.

Para a modelagem da infraestrutura das operações utilizou-se um cenário hipotético inspirado em um cenário real, no qual tem-se as bases operacionais, uma oficina e centro de reparo nacional e internacional. A modelagem do perfil operacional e do esforço aéreo executados pela frota considerou a taxa média diária de utilização das aeronaves conforme os últimos relatórios de divulgação dos resultados do primeiro trimestre das companhias aéreas brasileiras.

A modelagem realizada é matemática, estática e determinística, assumindo taxas de falha constante 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. 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 um certo ponto onde o ganho a partir desse ponto 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 todas as estratégias avaliadas o ponto mais próximo deste nível de desempenho foi 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 a uma simulação utilizando 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 estratégia a fim de obter mais consistência nos resultados. O período de simulação foi de dez anos, o mesmo período do contrato de arrendamento. Como resultado das simulações encontrou-se a disponibilidade média da frota e a sua distribuição ao longo dos dez anos de operação. Além da disponibilidade, foi possível identificar a quantidade de tarefas de manutenção preventiva e corretiva totais e suas distribuições ao longo dos dez anos de arrendamento. Esses dados são importantes para avaliação do impacto da relação custo-benefício de cada

estratégia de gerenciamento das operações e do suporte - que é parte do objetivo desse trabalho.

Com as simulações realizadas, os resultados obtidos e o modelo foram submetidos ao cálculo dos custos ao longo do período de arrendamento. 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 componentes da aeronave a fim de compor o modelo de baixo para cima de cálculo dos custos do ciclo de vida.

Para a metodologia proposta para o cálculo dos custos ao longo do período de arrendamento, adotou-se uma abordagem de baixo para cima (do inglês *bottom-up*), derivada da técnica de estimativa de custos de Engenharia de Projetos. Utilizou-se essa técnica 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 a utilização de meios computacionais eficientes em razão da sua complexidade, profundidade e abrangência. Sendo assim, utilizou-se um pacote de softwares de gerenciamento de ciclo de vida chamado Suíte OPUS© da empresa sueca Systecon AB, cuja licença acadêmica está disponível no Laboratório de Engenharia Logística do ITA (AeroLogLab). O funcionamento e todos os conceitos por trás desse pacote de softwares utilizados também são explicados na revisão da literatura.

A partir desse ponto, os passos anteriores foram realizados para as cinco estratégias de gerenciamento das operações e do suporte. 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>.

O passo a passo executado, somado à utilização dos recursos computacionais e às análises estatísticas, permitiram encontrar a disponibilidade e o custeio no ciclo de vida de uma frota de aeronaves para cinco diferentes estratégias de gerenciamento das operações e do suporte. Sendo assim, realizou-se a análise da relação custo-benefício para as cinco estratégias, comparando a disponibilidade média e os custos calculados para o período de dez anos de arrendamento.



Além da comparação realizada para o período de arrendamento, realiza-se também a mesma análise da relação custo-benefício para as cinco estratégias de gerenciamento das operações e do suporte avaliando sua capacidade em reentregar as aeronaves frente a dois diferentes tipos de protocolos que devem ser atendidos na fase de reentrega em um contrato de arrendamento. Foram escolhidos dois diferentes protocolos de reentrega para a avaliação dos motores e componentes por duas medidas diferentes: horas e ciclos de voo.

Por fim, foi realizada uma modelagem em uma das estratégias com o objetivo de prever o impacto no comportamento da taxa de falha dos componentes, decorrente das extensões realizadas nos prazos de manutenção preventiva. Foi realizada inicialmente uma comparação da frequência a ser realizada a manutenção preventiva em cada item com e sem as extensões nos prazos. A avaliação foi feita para o cenário de dez anos de arrendamento e por uma frequência anual de realização das tarefas de manutenção preventiva. Para a realização dessa modelagem, também se utilizou o software OPUS©, no entanto foi realizada uma modelagem em fases, na qual foi possível alterar o parâmetro taxa de falha entre as fases para refletir o impacto no comportamento da taxa de falha, quando há o uso dessas extensões de prazo. Após a modelagem, foi feita uma comparação na quantidade de manutenção corretiva realizada quando esse impacto é modelado. Assim, a **Figura 2** sintetiza a metodologia proposta neste estudo.

## 4 Aplicação do Método, Resultados e Discussão

As seções seguintes apresentam a metodologia aplicada, descrita em cinco fases. Como definido na seção anterior, iniciou-se com a modelagem da aeronave como produto, da infraestrutura de suporte logístico e de operação da frota de uma operação aérea hipotética inspirada em um cenário real. Dessa forma na subseção 4.1, a modelagem é descrita assim como todos os dados da frota são apresentados. A razão para essa descrição preliminar é o entendimento da frota, da infraestrutura de suporte logístico e da operação antes de iniciar as simulações e comparações dos resultados.

Na subseção 4.2, é descrita a simulação utilizando variáveis dependentes do tempo, permitindo um entendimento maior do comportamento da frota ao longo de sua utilização, realizada a partir do resultado oferecido pela modelagem realizada na subseção anterior. Na subseção 4.3, os resultados obtidos e o modelo foram submetidos ao cálculo dos custos ao longo do período de arrendamento.

A comparação dos custos e da disponibilidade nos diferentes protocolos de reentrega para o melhor entendimento da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas de reentregar é feita na subseção 4.4. Por fim, na subseção 4.5 é realizada uma modelagem em uma das estratégias com o objetivo de prever o impacto no comportamento da taxa de falha dos componentes, decorrente das extensões realizadas nos prazos de manutenção preventiva.

### 4.1 Modelagem da Infraestrutura de Suporte, Frota e Operação

Iniciou-se a modelagem com a estrutura da aeronave. Um avião Boeing 737 possui pelo menos 30.000 componentes de vários tamanhos e tipos. As aeronaves podem ter de dois a quatro motores e dezenas de milhares de parafusos. Esses componentes podem variar muito de valor. Por exemplo, um motor Trent 900 pode custar aproximadamente US\$ 4,6 milhões enquanto um rebite utilizado no revestimento da aeronave pode custar apenas US\$ 5 (YUNCHUN *et al.*, 2022). Segundo o princípio do diagrama de Pareto (BACKHAUS, 1980), é possível identificar quais são os componentes mais importantes, utilizando a teoria de gerenciamento de classificação de estoque ABC. Para a modelagem da estrutura de qualquer avião, os motores e os componentes classificados como LRU fazem parte dos componentes mais importantes e de custo mais elevado. Uma LRU é uma

peça sobressalente que pode ser facilmente substituída em uma aeronave com ferramentas padrão durante a manutenção de rotina do voo. Algumas peças importantes do LRU são tecnicamente reparáveis, incluindo os componentes do trem de pouso e gravadores de dados de voo e é rentável fazê-lo. Estas peças LRU utilizam recursos pertencentes à categoria A na classificação de estoque ABC. Os itens da categoria A referem-se a peças de reposição de alto custo que representam apenas 20% do número de peças de reposição da aeronave, mas seus custos de aquisição e armazenamento podem representar 80% dos custos totais da companhia aérea (YUNCHUN *et al.*, 2022). Por isso foram escolhidos 203 componentes LRUs representativos para modelagem da estrutura da aeronave. Para modelar o avião em pauta utilizou-se dados de defesa. No entanto, o esforço aéreo utilizado no perfil operacional é semelhante ao de uma companhia aérea, com uma taxa de utilização média de dez horas por dia (de acordo com os últimos relatórios de divulgação dos resultados das companhias aéreas brasileiras Azul, Gol e Latam).

O produto aeronave é dividido por estruturas, motor e sistemas. Dentro dos sistemas, tem-se o de combustível, elétrico, hidráulico, de trem de pouso, de freios, de controle de voo, navegação, rádio entre outros. Os componentes presentes nesse modelo fazem parte dos principais sistemas de uma aeronave. Portanto, entre os componentes modelados tem-se válvulas (sistema hidráulico); motor e atuadores (motor); painéis de controle (controles de voo); transceptores (sistema de rádio), baterias, resistores, módulos e painéis de controles elétricos (sistema elétrico); bomba de combustível (sistema combustível); coletor do trem de pouso e o trem de pouso (sistema de trem de pouso); conjuntos e válvulas de freio (sistema de freio); receptor de GPS e instrumento de voo básico (sistema de navegação). Dessa forma, os componentes escolhidos são representativos para a modelagem, pois são componentes dos principais sistemas presentes tanto em um Boeing 737 quanto no projeto de defesa.

Os dados trazidos de um cenário hipotético inspirado em um cenário real foram descaracterizados. A modelagem do cenário inicia-se com a definição do tamanho da frota. O tamanho da frota escolhido (25 aeronaves) foi baseado na quantidade média de aeronaves presente em um contrato de arrendamento com o mesmo arrendador, essa quantidade varia entre 25 e 35 aeronaves.

Depois, realizou-se a modelagem da estrutura na qual a operação está inserida. A operação conta com quatro bases operacionais (OP1, OP2, OP3 e OP4), nas quais cada aeronave possui sua utilização anual. Portanto, conforme **Figura 3**, na base operacional

1 existem sete aeronaves que voam 1.624 horas por ano cada. Nas bases operacionais 2, 3 e 4 existem seis aeronaves em cada base que voam 1.624 horas por ano cada. A escolha da alocação das aeronaves e do esforço aéreo realizado foi feita de acordo com o perfil operacional que essas aeronaves vão executar e é explicado posteriormente.

Além das bases operacionais, esse sistema é composto por uma oficina de manutenção (MRO), no qual existe um centro de distribuição que envia/recebe materiais das bases operacionais e dos centros de reparo.

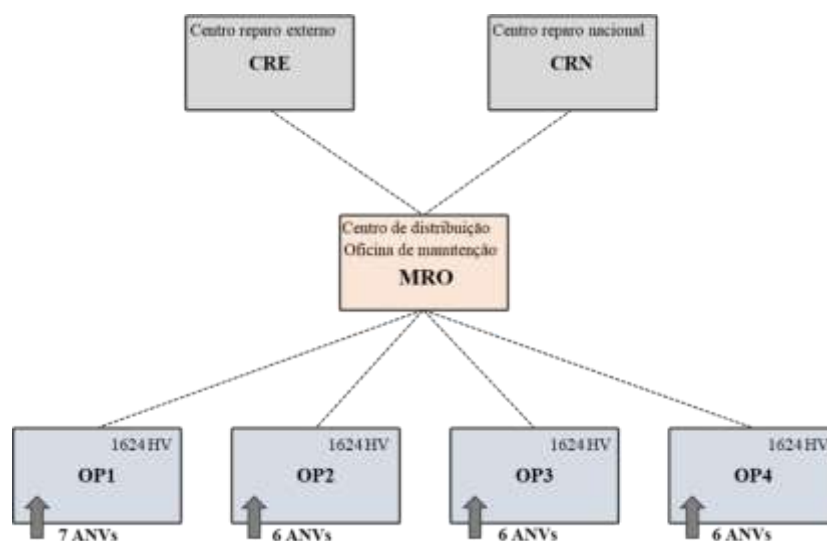


Figura 3 – Descrição da estrutura de suporte.

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 tarefas de reparo tanto para manutenção preventiva quanto para manutenção corretiva são realizadas nos centros de reparo nacional ou externo. As proporções de reparo em cada centro correspondem a 30% enviado ao centro nacional e 70% enviado ao centro externo. A escolha da proporção de reparo em cada centro é baseada no fato de os fabricantes de aeronaves comerciais se concentrarem fora do país. As estações que compõem o cenário e a % de reparo em cada uma delas estão listadas na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Distribuição da % de reparo nas estações.

<b>Bases</b>	<b>Tipo Base</b>	<b>% reparo</b>
OP1	Operacional	0%
OP2	Operacional	0%
OP3	Operacional	0%
OP4	Operacional	0%
MRO	Armazenamento	0%
CRN	Centro de Reparo Nacional	30%
CRE	Centro de Reparo Externo	70%

Dessa forma, tem-se 25 aeronaves no cenário que são arrendadas por um período de dez anos. A escolha do período de arrendamento também foi baseada nos contratos de arrendamento que podem durar entre cinco e dez anos. Conforme mostra a **Tabela 7**, o valor do arrendamento mensal por aeronave é de US\$ 355.000, de acordo com os valores praticados em contratos de arrendamento de um Boeing 737. Sendo assim o valor por ano gasto com arrendamento por aeronave chega a US\$ 4.260.000 e, no período de 10 anos de arrendamento, o custo por aeronave chega a US\$ 42.600.000.

Tabela 7 – Informações sobre o valor de arrendamento de aeronaves.

<b>Valor arrendamento por mês por aeronave</b>	<b>Valor arrendamento por ano por aeronave</b>	<b>Valor arrendamento por aeronave total</b>
355.000	4.260.000	42.600.000

Depois de modelar a estrutura da operação, inicia-se a modelagem da estrutura das aeronaves com relação aos seus componentes. Com a informação de todos os componentes da aeronave, insere-se a taxa de falha de cada um, conforme Apêndice 1. Tem-se também a vida técnica de cada componente e o preço para reparo e/ou substituição de cada um. Todas essas informações foram inseridas no modelo.

Portanto, com todas as informações referentes aos reparos que devem acontecer durante a operação de acordo com a utilização de cada aeronave, a manutenção preventiva da aeronave, de alguns componentes e motores foram modeladas conforme **Tabela 8** abaixo. Para medir quando essa manutenção deve ocorrer, utiliza-se ciclos, horas calendárias e horas operacionais. A manutenção preventiva Pré voo é realizada a cada voo da aeronave e pode ser realizada em todas as bases, enquanto as demais possuem medidas específicas para execução da tarefa e só podem ser realizadas no centro de

manutenção nacional ou externo. Foram escolhidas para modelagem tarefas de manutenção preventiva de motor e alguns componentes para validação dos protocolos de reentrega.

Tabela 8 – Informações sobre a manutenção preventiva.

<b>Identificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Local</b>
Aeronave	Pré voo	Ciclos	1	Todas as bases
Item 26	Componente	Horas calendárias	17.520	CRE e CRN
Item 27	Componente	Horas operacionais	1.000	CRE e CRN
Item 35	Componente	Horas calendárias	8.760	CRE e CRN
Item 41	Motor	Horas operacionais	12.000	CRE e CRN
Item 42	Componente	Horas calendárias	3.000	CRE e CRN
Item 57	Componente	Horas operacionais	3.500	CRE e CRN

Os custos e tempos de transporte entre as estações que compõem esse sistema também foram modelados de acordo com a **Tabela 9**. O tempo maior de deslocamento ocorre entre o MRO e o centro de reparo no exterior (CRE), sendo de 15 dias. E, conseqüentemente o maior custo de transporte entre as estações também está entre o MRO e o CRE. Os custos de transporte e estocagem foram estabelecidos com base em práticas adotadas pelo mercado de forma geral.

Tabela 9 – Custos e tempos de transporte entre as estações.

<b>Estação</b>	<b>Estação Mãe</b>	<b>Custo (\$)</b>	<b>Tempo (dias)</b>
Bases operacionais	MRO	250	5
MRO	CRN	100	2
MRO	CRE	1.000	15
CRN	MRO	100	2
CRE	MRO	1.000	15
MRO	Bases operacionais	200	5

Por fim, a operação realizada no cenário também foi modelada. As aeronaves podem realizar três tipos de voo. O Voo Hub consiste em um voo bate e volta para o Hub do sistema que possui uma hora de duração cada perna. O Voo Normal R1 corresponde a um voo normal saindo do HUB para a região 1 que possui duração de uma hora e meia cada perna. O Voo Normal R2 corresponde a um voo normal saindo do HUB para a região 2 que possui duração de três horas cada perna. A escolha do perfil operacional modelado foi baseada na operação de uma companhia aérea brasileira e os dados foram

descaracterizados. Todas essas informações foram modeladas de acordo com a **Tabela 10**.

Tabela 10 – Dados sobre a operação do sistema.

<b>Identificação Voo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Duração (h)</b>
Voo Hub	Voos bate e volta para o Hub	1
Voo Normal R1	Voos normais para Região 1	1,5
Voo Normal R2	Voos normais para Região 2	3

Dessa forma, a modelagem da infraestrutura de suporte, da frota e da operação de trata-se de 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. A modelagem foi realizada para cinco diferentes estratégias de gerenciamento da operação e de suporte. A estratégia 1 representa uma operação em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo, adiando com certa frequência algumas tarefas de manutenção preventiva e optando por despachar a aeronave na MEL (do inglês *minimum equipment list*), portanto para modelar essa estratégia utilizou-se uma taxa de adiamento das manutenções preventivas de 90%. A estratégia 2 também representa uma operação em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo, no entanto com uma frequência menor, adiando algumas tarefas de manutenção preventiva e optando por despachar a aeronave na MEL (do inglês *minimum equipment list*). A estratégia 2 é uma estratégia de gerenciamento da frota em que as aeronaves não são utilizadas em seu nível máximo, mas também não segue um gerenciamento padrão coerente, portanto para modelar essa estratégia utilizou-se uma taxa de adiamento das manutenções preventivas de 50%. A estratégia 3 representa uma operação em que as aeronaves são utilizadas acima do ritmo padrão coerente, no entanto com uma frequência menor, utilizando uma taxa de extensão das manutenções preventivas de 20% na modelagem. A estratégia 4 representa uma operação em que as aeronaves também são utilizadas acima do ritmo padrão coerente, no entanto com uma taxa de extensão das manutenções preventivas de 10% na modelagem. A estratégia 5 representa uma operação padrão coerente, que cumpre com as tarefas de manutenção preventiva sempre no prazo correto, sem a utilização de prazo de extensão. Sendo assim, para modelar essas cinco estratégias diferentes de gerenciamento da frota utilizou-se uma taxa de extensão dos prazos de execução das manutenções preventivas, como mostra a **Tabela 11**. No caso da estratégia 1, essa taxa corresponde a

90%, ou seja, em 90% dos casos em que a aeronave deveria parar para realizar uma manutenção preventiva, opta-se por adiá-la, utilizando um prazo de extensão. No caso da estratégia 2, essa taxa corresponde a 50%, ou seja, em 50% dos casos em que a aeronave deveria parar para realizar uma manutenção preventiva, opta-se por adiá-la, utilizando uma extensão. No caso da estratégia 3, essa taxa corresponde a 20%, ou seja, em 20% dos casos em que a aeronave deveria parar para realizar uma manutenção preventiva, opta-se por adiá-la, utilizando uma extensão. No caso da estratégia 4, essa taxa corresponde a 10%, ou seja, em 10% dos casos em que a aeronave deveria parar para realizar uma manutenção preventiva, opta-se por adiá-la, utilizando uma extensão. No caso da estratégia 5, essa taxa corresponde a zero, pois sempre há a execução da manutenção preventiva quando atinge a medida necessária para realizá-la.

Tabela 11 – Estratégias de gerenciamento da operação e de suporte.

<b>Estratégias</b>	<b>Taxa de extensão</b>
Estratégia 1	90%
Estratégia 2	50%
Estratégia 3	20%
Estratégia 4	10%
Estratégia 5	0%

Pode-se assumir que foram considerados apenas os valores médios de cada parâmetro utilizado, sem considerar medidas de dispersão. A modelagem foi realizada para um período de dez anos de operação desse sistema para todas as estratégias. 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 cenário em análise a disponibilidade acima de 70%, pois a partir desse ponto o ganho em disponibilidade não é significativo frente ao investimento que deve ser realizado. 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 todas as estratégias e testes avaliados o ponto mais próximo deste nível de desempenho foi 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.



Dessa forma, considerando um período de dez anos de operação da frota, o cenário descrito acima foi modelado no software OPUS© para cada estratégia de operação 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.

Na **Figura 4**, as curvas de máxima efetividade de custo fornecidas pelo software para todas as estratégias do sistema podem ser observadas com destaque para o ponto acima de 70% de disponibilidade para o sistema com 25 aeronaves. Portanto, para uma disponibilidade de 70% os custos ao longo dos 10 anos para as cinco estratégias são em torno de 3,72 Bi USD.

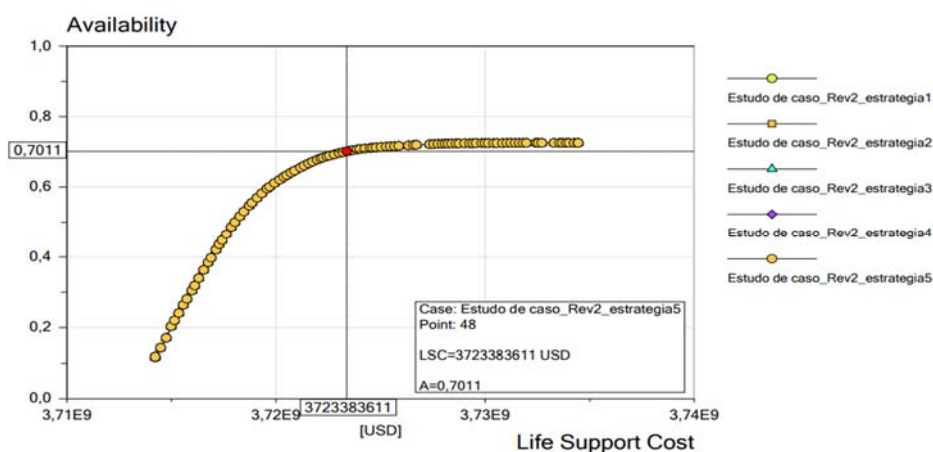


Figura 4 – Disponibilidade versus custos para as cinco estratégias após a modelagem (SOFTWARE OPUS©, 2023).

Percebe-se que para um resultado estático e determinístico não há diferença nas curvas de máxima efetividade, pois as estratégias de gerenciamento da operação e de suporte da frota diferem na suportabilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de arrendamento. O resultado dessas curvas traz uma foto em que todos os pontos do gráfico representam soluções ótimas de composição de estoques para cada nível de orçamento para cumprir com esses dez anos de operação das aeronaves. Sendo assim, para análise e melhor entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento foi realizada uma simulação para os dez anos dessa operação.

## 4.2 Simulação Infraestrutura de Suporte, Frota e Operação

Com as quantidades de estoque recomendadas no ponto escolhido e o perfil de operação com distribuição de horas de voo mostrada no Apêndice 2, foram realizadas simulações dos dez anos de operação das cinco estratégias com a submissão da modelagem realizada no OPUS© no software SIMLOX. Adotou-se a premissa de que as 25 aeronaves chegaram ao mesmo tempo e, ao realizar manutenção, pararam simultaneamente. Além disso é importante ressaltar que a taxa de falha dos componentes foi considerada constante durante todo o período simulado.

Com base nos resultados obtidos ao fim de 100 replicações, a simulação acusou uma disponibilidade média aproximada para as cinco estratégias. No entanto, os valores de disponibilidade apresentados são muito discrepantes daqueles encontrados pela modelagem matemática feita no OPUS©. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de o software SIMLOX considerar o perfil de operação das frotas para o cálculo e não se tratar de um resultado estático e determinístico. Além disso, na simulação foi considerado que todas as aeronaves saem ao mesmo tempo para cumprir com os voos, dessa forma algumas manutenções podem ocorrer ao mesmo tempo, gerando indisponibilidade da frota. De qualquer forma, essa observação não interfere no objetivo maior desse trabalho que é avaliar o impacto da relação custo-benefício do suporte logístico integrado das aeronaves arrendadas na capacidade das operadoras aéreas de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento.

Na **Figura 5**, pode-se observar a distribuição da disponibilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de operação da estratégia 1. Por se tratar de uma estratégia em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo e as manutenções preventivas são estendidas em uma taxa de 90%, há alguns picos que mostram que 80% das aeronaves estão disponíveis em alguns momentos ao longo desses 10 anos de arrendamento. Foi possível identificar que o período de indisponibilidade está fortemente ligado à espera de material.

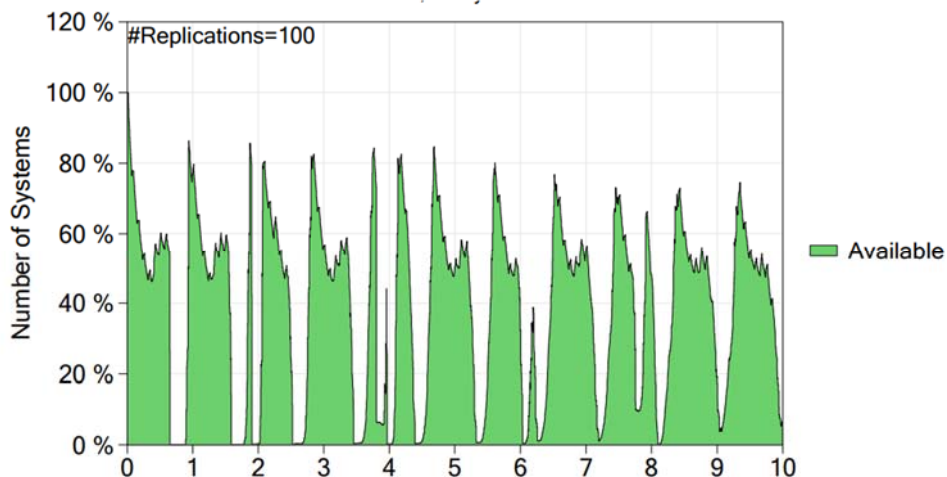


Figura 5 – Disponibilidade ao longo dos anos para a estratégia 1 (SOFTWARE OPUS©, 2023).

O objetivo primordial de uma operadora aérea consiste em transportar passageiros, pois esta é sua principal fonte de receitas. Conseqüentemente, a quantidade de voos realizados pelas aeronaves por dia impacta diretamente na receita mensal da companhia. Além disso, o valor pago pela operadora ao arrendador da aeronave permanece inalterado, independentemente do uso efetivo da mesma. Dessa forma, a estratégia 1 de gerenciamento da operação e suporte da frota busca utilizar as aeronaves ao máximo, a fim de disponibilizá-las o maior tempo possível para voos, otimizando assim a receita da operadora aérea, uma vez que o custo mensal do arrendamento da aeronave é fixo.

Na **Figura 6**, é possível visualizar a distribuição da disponibilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de operação da estratégia 2. Nesse contexto, nota-se que a distribuição de disponibilidade se assemelha muito à da estratégia 1. A estratégia de gerenciamento de frota em questão adota uma taxa de extensão de 50% para as manutenções preventivas, resultando em alguns picos no gráfico dos primeiros anos de simulação, onde cerca de 80% das aeronaves estão disponíveis. Portanto, ao analisar a distribuição da disponibilidade ao longo do tempo e comparar os dois gráficos (estratégia 1 e 2), é possível identificar que a estratégia 1 exibe a maior disponibilidade ao longo do tempo. Entretanto, mais adiante, o valor médio de disponibilidade ao longo desses dez anos será avaliado para cada estratégia de gerenciamento de frota.

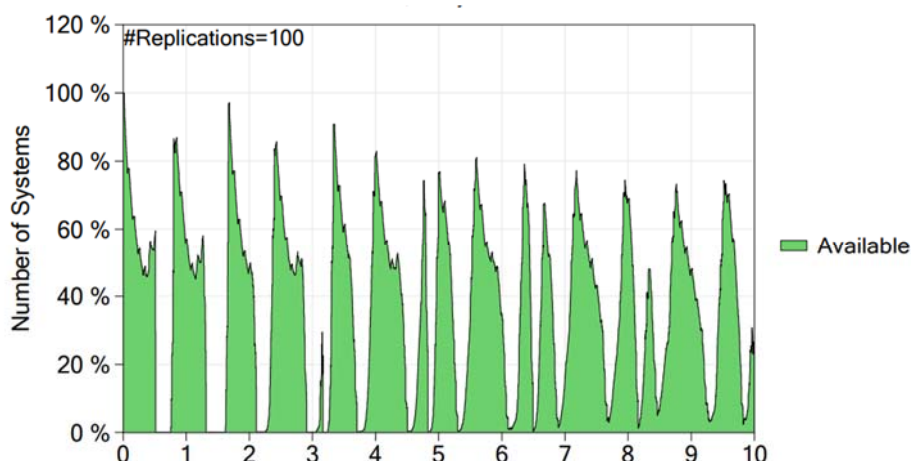


Figura 6 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 2 (SOFTWARE OPUS©, 2023).

Na **Figura 7**, é possível observar a distribuição da disponibilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de operação da estratégia 3. Nos primeiros anos, há vários picos em que aproximadamente 80% das aeronaves estão disponíveis. No entanto, ao longo dos dez anos de operação, também são percebidos alguns vales maiores, representando os períodos de indisponibilidade. Esses vales são explicados pelo fato de que a estratégia 3 adota uma taxa de extensão de 20% para as manutenções preventivas. Dessa forma, ocorrem mais paradas para a execução dessas tarefas em uma frequência maior do que na estratégia 2.

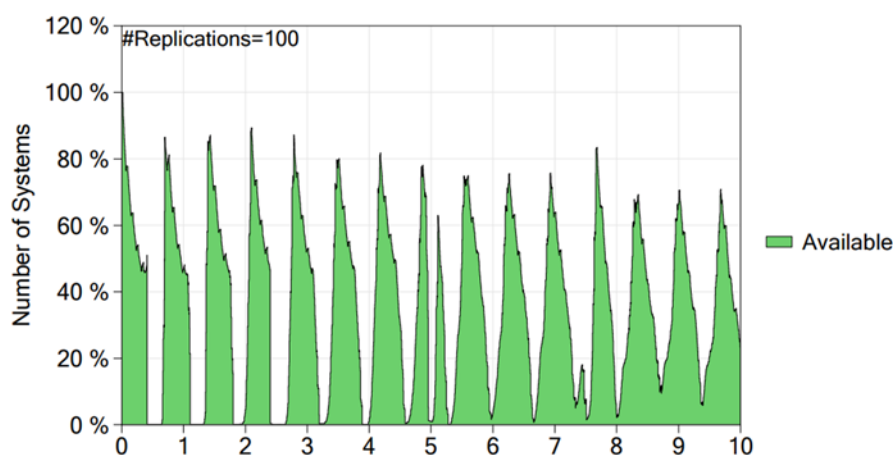


Figura 7 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 3 (SOFTWARE OPUS©, 2023).

Na **Figura 8** pode-se observar a distribuição da disponibilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de operação da estratégia 4, em que há grandes vales de indisponibilidade durante os dez anos de operação. Isso se explica pelo fato de se tratar

de uma estratégia em que as aeronaves possuem uma taxa de extensão de 10% das manutenções preventivas. Sendo assim, ocorrem algumas paradas para a execução dessas tarefas em uma frequência maior que na estratégia 2 e 3, pois a taxa de extensão na estratégia 4 é menor que nas demais estratégias.

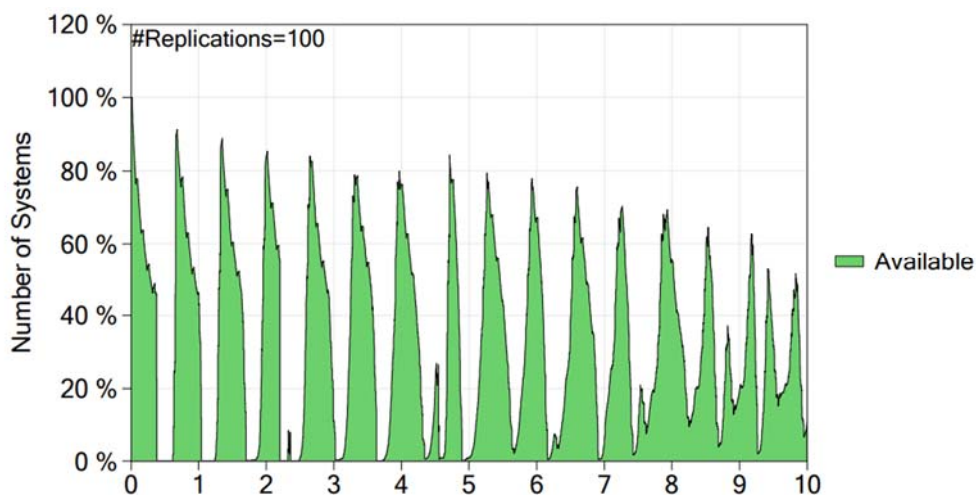


Figura 8 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 4 (SOFTWARE OPUS©, 2023).

Na **Figura 9** pode-se observar a distribuição da disponibilidade das aeronaves ao longo dos dez anos de operação da estratégia 5, em que há grandes vales de indisponibilidade durante os dez anos de operação. Isso se explica pelo fato de se tratar de uma estratégia em que as aeronaves são utilizadas de forma padrão coerente e as manutenções preventivas são realizadas no prazo, sem utilização da taxa de extensão. Sendo assim, ocorrem algumas paradas para a execução dessas tarefas, deixando algumas aeronaves indisponíveis durante a manutenção.

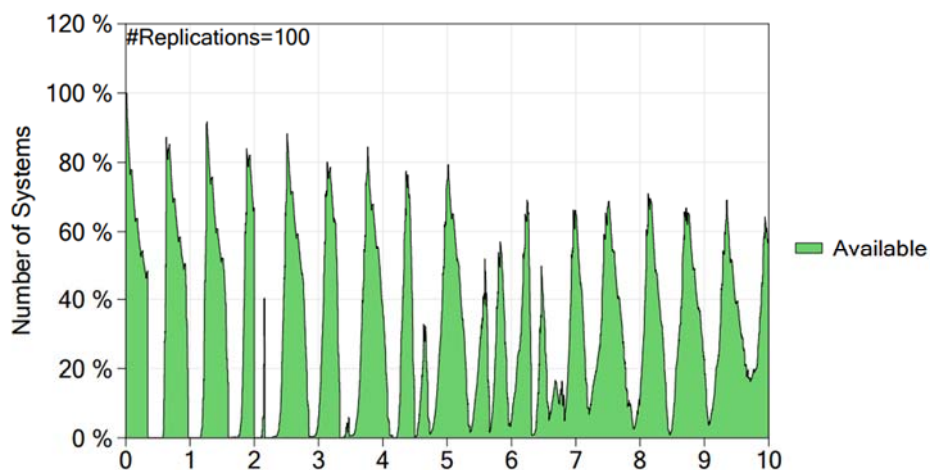


Figura 9 – Disponibilidade ao longo dos anos para estratégia 5 (SOFTWARE OPUS©, 2023).

Ao comparar as cinco estratégias de gerenciamento da frota, nota-se a necessidade do correto entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial, pois analisando somente pelo viés de disponibilidade a estratégia 1 parece ser a melhor opção. No entanto, a forma de condução do gerenciamento das operações e de suporte da frota do ponto de vista da sua suportabilidade pode implicar uma degradação significativa na saúde dos ativos (aeronaves arrendadas) a ponto de comprometer o processo de reentrega e seus custos relacionados. Ao fim do contrato, a operadora aérea pode ter um descaixe maior para realizar as manutenções necessárias na fase reentrega. Dessa forma, uma vez que o gerenciamento das operações e de suporte da frota realiza a gestão das atividades de suporte para se obter uma boa relação custo-benefício durante o período de arrendamento, é necessário que os custos envolvidos na fase de reentrega também sejam incorporados para um melhor entendimento dessa relação.

Além da disponibilidade distribuída ao longo dos dez anos de arrendamento para as cinco estratégias, na **Figura 10** abaixo, é possível identificar a disponibilidade média nesse período. Portanto, para a estratégia 1 o sistema apresenta uma disponibilidade média de 39,83%, para a estratégia 2 o sistema apresenta uma disponibilidade média de 37,15%, para a estratégia 3 de 37,04%, para a estratégia 4 o sistema apresenta uma disponibilidade média de 33,56% e para a estratégia 5 de 32,28%. A disponibilidade encontrada na simulação ficou um pouco diferente da disponibilidade encontrada na modelagem no OPUS© pois na modelagem, adotou-se a premissa de que as 25 aeronaves chegaram ao mesmo tempo e, ao realizar manutenção, todas pararam simultaneamente. Esse cenário resultou em indisponibilidade devido à espera de material, resultando em uma disponibilidade um pouco abaixo do esperado. A explicação para isso está na falta de encadeamento de uma diagonal de manutenção, sendo que a única diagonal representada na modelagem se refere às manutenções corretivas ocorrendo no meio do processo. Caso uma diagonal de manutenção tivesse sido modelada, é provável que os números aumentassem, mas ainda assim não chegariam aos 70% do OPUS©, pois na simulação foi abordada a variabilidade no processo, o que leva a um valor menor de disponibilidade. A diferença da disponibilidade média entre a estratégia 1 e 2 é de apenas 2,68 pontos percentuais, no entanto os custos referentes à fase reentrega nesse ponto ainda não foram incorporados. Quando comparada à estratégia 3, a disponibilidade da estratégia 1 apresenta uma diferença de 2,79 pontos percentuais. Quando comparada à estratégia 4,

a disponibilidade da estratégia 1 apresenta uma diferença de 6,27 pontos percentuais. Quando comparada à estratégia 5, a disponibilidade da estratégia 1 apresenta uma diferença de 7,55 pontos percentuais. Isso pode ser explicado pelo fato de que ao adiar as manutenções preventivas, na estratégia 1, 2, 3 e 4 o sistema fica com mais aeronaves disponíveis para operação, enquanto ao gerenciar a frota com uma utilização padrão coerente, a estratégia 4 leva a frota a estar menos disponível ao longo desses dez anos de arrendamento. Além disso, sob a ótica de disponibilidade, o gerenciamento da frota nas estratégias 1, 2 e 3 apresentaram um resultado médio semelhante, se diferenciando apenas na distribuição dessa disponibilidade do longo do tempo.

Na estratégia 4 e 5, a disponibilidade média da frota são semelhantes, no entanto ao optar por utilizar uma taxa de extensão de 10% no prazo da manutenção preventiva, a frota na estratégia 4 apresenta um resultado médio maior que a estratégia 5. Além disso, é possível notar que quanto maior for a taxa de extensão no prazo da manutenção preventiva, maior o resultado de disponibilidade média da frota.

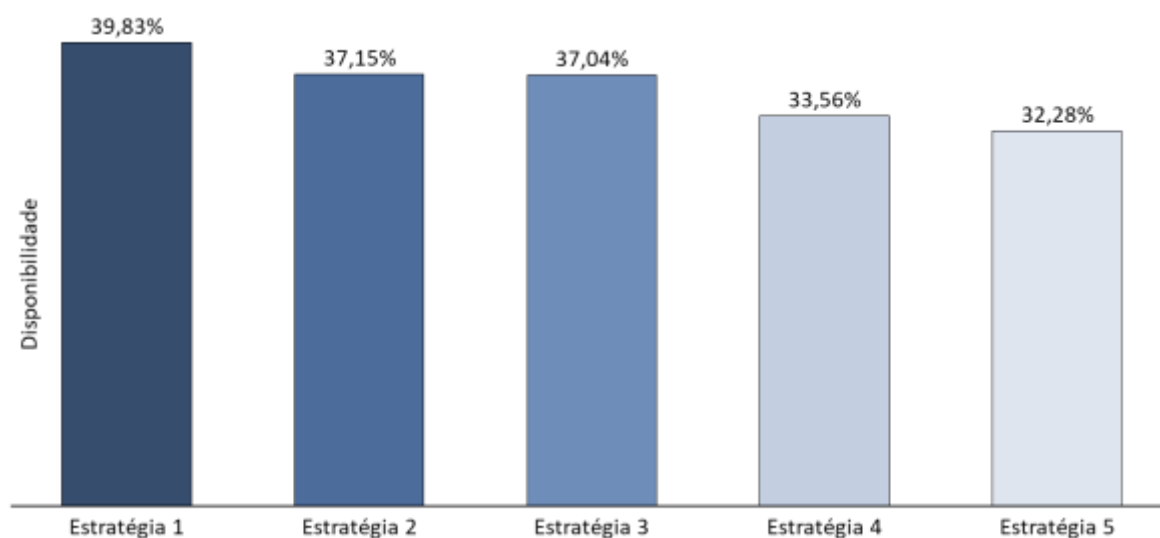


Figura 10 – Gráfico com a disponibilidade média no período de arrendamento para todas as estratégias de operação.

Sob a ótica de suportabilidade da frota, o gerenciamento de suporte ao produto, outro importante elemento do IPS, traz a importância de se maximizar a prontidão por meio da entrega de um suporte à aeronave que seja desejado e a um custo acessível. Portanto, maximizar a prontidão é uma preocupação real, mas deve-se considerar o suporte à aeronave nesse período de arrendamento e na fase de reentrega a um custo acessível e planejado ao longo desses anos.

Com relação ao período de indisponibilidade do sistema em todas as estratégias foi possível visualizar a quantidade (em porcentagem) das aeronaves alocadas para realização das tarefas de manutenção preventiva das estratégias 1, 2, 3 e 4, como mostra a **Figura 11** abaixo. É possível notar a diferença entre as distribuições ao longo do período de dez anos simulado para as cinco estratégias, pois na estratégia 1 a distribuição das tarefas de manutenção preventiva se acumula mais nos últimos anos. Esse comportamento é explicado pela taxa de adiamento dessas tarefas adotadas pela estratégia 1. O mesmo ocorre com as estratégias 2, 3 e 4, no entanto com em uma proporção que vai diminuindo gradativamente de acordo com as taxas de extensão no prazo da manutenção preventiva.

No caso da estratégia 2, a distribuição das tarefas também se acumula mais nos últimos anos, no entanto em uma quantidade menor. A estratégia 2 de operação possui uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 50%, dessa forma essas tarefas são distribuídas ao longo do período de arrendamento de uma forma mais padronizada que na estratégia 1. A estratégia 3 de operação possui uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 20%, dessa forma essas tarefas são distribuídas ao longo do período de arrendamento de uma forma mais padronizada que nas estratégias 1 e 2. A estratégia 4 de operação possui uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 10%, dessa forma essas tarefas são distribuídas ao longo do período de arrendamento de uma forma mais padronizada que nas estratégias 1, 2 e 3.



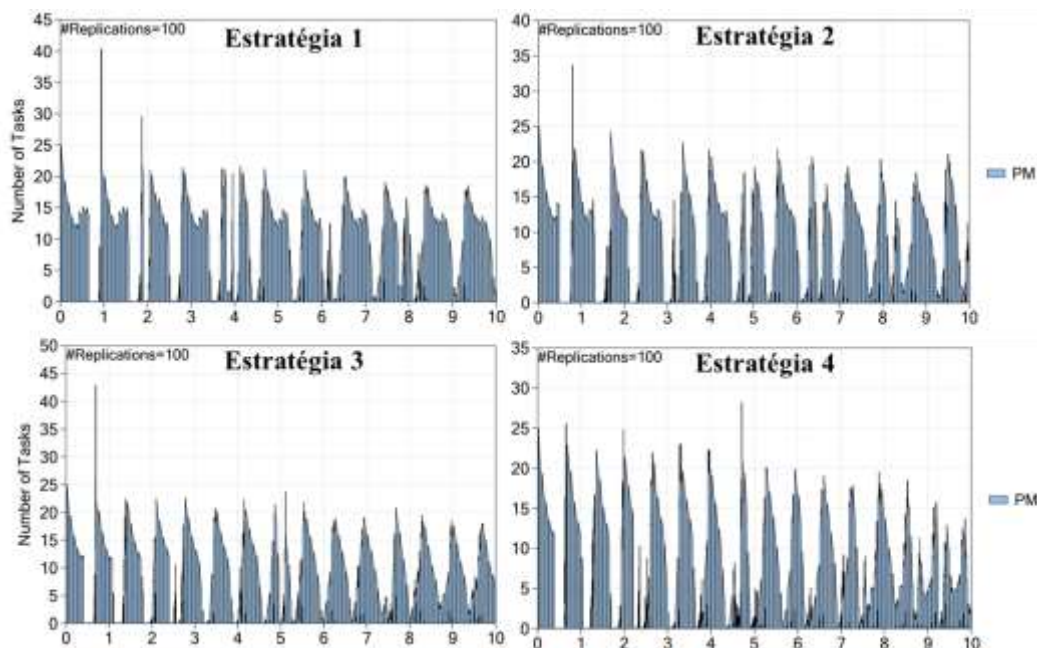


Figura 11 – Quantidade de aeronaves alocadas para realização das tarefas de manutenção preventiva para as estratégias de operação 1, 2, 3 e 4 (OPUS©).

No caso da estratégia 5, há um certo padrão na distribuição, como mostra a **Figura 12**. Por operar a frota no modo padrão coerente e realizar todas as tarefas de manutenção preventiva sem a utilização de taxa de extensão, a estratégia 5 além possuir uma previsibilidade maior da execução das tarefas pode-se prevenir quanto aos custos necessários para executar essas tarefas.

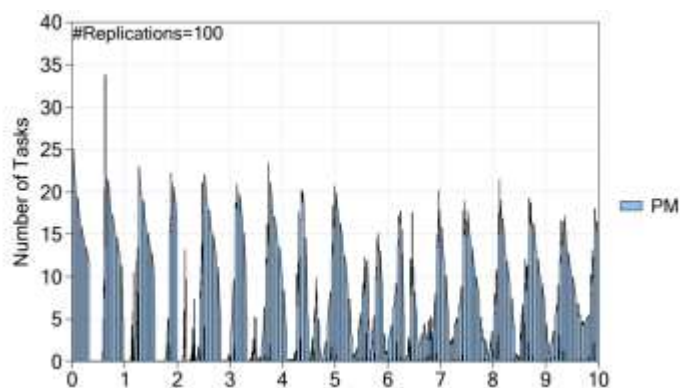


Figura 12 – Quantidade de aeronaves alocadas para realização das tarefas de manutenção preventiva para as estratégias de operação 5 (OPUS©).

Observando a **Figura 11**, percebe-se que a estratégia 1 de gerenciamento das operações e de suporte da frota pode apresentar uma quantidade maior de tarefas de manutenção preventiva. No entanto, a necessidade operacional corre o risco de estar acima da capacidade de suporte. Quando ocorre qualquer mudança na maneira como as

aeronaves são operadas e suportadas, o gerenciamento da frota também é afetado e pode comprometer a capacidade da operadora de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento.

A quantidade de tarefas de manutenção preventiva executadas nesse período para as cinco estratégias, podem ser observadas na **Figura 13** abaixo. Com as aeronaves operando na estratégia 1, mesmo utilizando a taxa de extensão de 90% no prazo das tarefas de manutenção preventiva a quantidade de tarefas realizadas no período é maior que nas demais estratégias. Um fator que pode explicar esse número é que a manutenção preventiva Pré Voo é realizada sempre antes de iniciar o voo para inspeção da aeronave. Portanto, se o sistema está mais disponível e pode operar mais horas de voo, a quantidade de inspeções realizadas também é maior. No entanto, na estratégia 3, que possui uma taxa de extensão no prazo da manutenção preventiva de 20%, a quantidade de tarefas de PM realizadas foi maior que na estratégia 2, que possui uma taxa de extensão no prazo da manutenção preventiva de 50%.

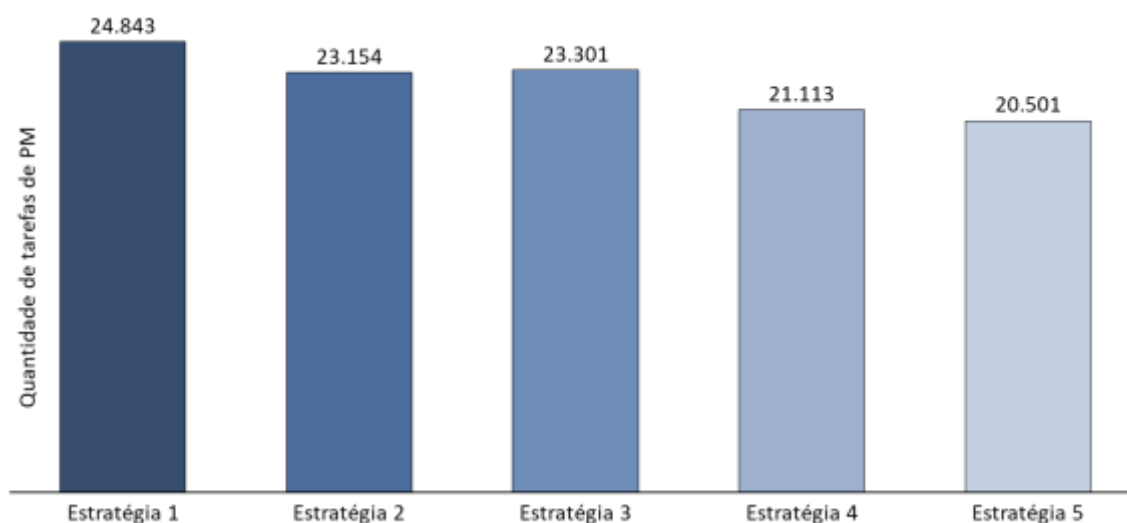


Figura 13 – Gráfico com a quantidade de tarefas de manutenção preventiva executadas nesse período para todas as estratégias de operação.

Ao analisar a quantidade de tarefas de reparo (manutenção corretiva) de todas as estratégias de operação, notou-se que na estratégia 1 as aeronaves estão mais disponíveis e, sendo assim, podem cumprir mais horas de voos. Isso faz com que essas aeronaves sejam submetidas a execução de mais tarefas de reparo, como mostra a **Figura 14**. Isso pode ser explicado pelo fato de que ao voar mais, os componentes das aeronaves que operam na estratégia 1 atingem mais rapidamente e com mais frequência a taxa de falha.

A operação em uma estratégia com um ritmo de utilização padrão coerente das aeronaves apresenta uma menor quantidade de tarefas de reparo durante o período de arrendamento.

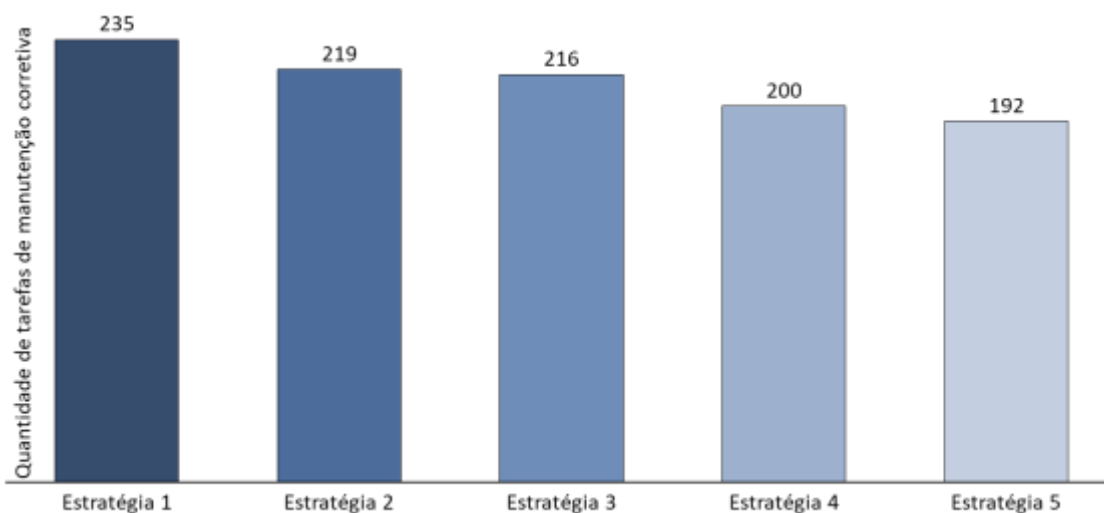


Figura 14 – Gráfico com a quantidade de tarefas de reparo de todas as estratégias de operação.

Dessa forma, após a simulação é possível entender que um sistema operado com uma estratégia em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo, é possível obter uma disponibilidade maior, no entanto incorre uma quantidade maior de tarefas tanto de manutenção corretiva quanto de manutenção preventiva. Além disso, por adiar as tarefas de manutenção preventiva, pode haver um momento dentro desse período de arrendamento de dez anos em que essas tarefas se acumulam e há um período de pico de indisponibilidade das aeronaves, como mostram os gráficos de distribuição da disponibilidade (**Figura 5, 6, 7, 8 e 9**). No entanto, é importante destacar que para esse estudo adotou-se a premissa de que a taxa de falha é constante em todo período de arrendamento.

Com os dados encontrados na simulação e a modelagem do sistema para as cinco estratégias de gerenciamento das operações e de suporte da frota, o próximo passo é o cálculo do custo desse sistema para o melhor entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial.

### 4.3 Custos no Período de Arrendamento

Os resultados obtidos com a simulação e o modelo foram submetidos ao software CATLOC, capaz de calcular os custos durante o período simulado. Nesse momento, todos

os eventos ocorridos no período de operação simulado para as cinco estratégias foram precificados e integrados no domínio do tempo, entre as diferentes bases de operação, centros de reparo e armazenagem, dos voos realizados e dos materiais e componentes da aeronave a fim de compor o modelo do cálculo dos custos

O modelo feito no OPUS© e simulado no SIMLOX foi inserido no software CATLOC. Após reunir todos os custos correspondentes a cada evento ocorrido ao longo do cenário simulado e inserir os custos pode-se observar na **Figura 15**, os custos totais do período de arrendamento de cada uma das estratégias de operação.

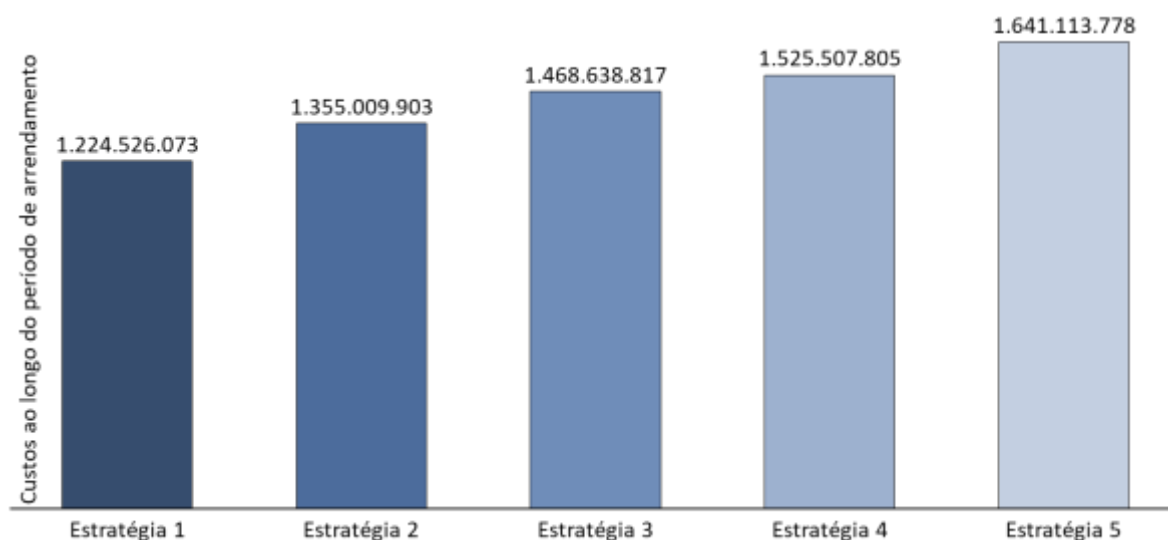


Figura 15 – Gráfico com os custos ao longo do período de arrendamento de cada uma das estratégias de operação.

O cálculo dos custos durante o período de arrendamento para todas as cinco estratégias de operação obtido pelo CATLOC para um período de operação de dez anos, também apresenta uma diferença. Para a estratégia 1, utilizando as aeronaves em seu nível máximo e adiando as tarefas de manutenção preventiva, visando uma economia nos custos, o sistema ao longo desse período de arrendamento apresenta um custo 11% menor que o sistema operando na estratégia 2, 20% menor que o sistema operando na estratégia 3, 25% menor que o sistema operando na estratégia 4 e 34% menor que operando na estratégia 5. Isso pode ser explicado pela estratégia de extensão no prazo das tarefas de manutenção preventiva adotada pela estratégia 1. Ao estender o prazo das tarefas de manutenção preventiva, no período de dez anos de operação, os custos para realização dessas manutenções também foram adiados. A estratégia 5 de operação, que realiza as manutenções preventivas no prazo correto e opta por um ritmo de operação padrão

coerente e com os custos mais bem distribuídos e planejados ao longo desses dez anos, apresenta um custo nesse período maior entre as cinco estratégias. Além disso, esse custo vai aumentando durante o período de arrendamento na medida em que se diminui a taxa de extensão no prazo de manutenção preventiva.

É importante ressaltar que, nesse momento, dentro desses custos apresentados não constam os custos necessários para cumprir com os protocolos de reentrega do contrato de arrendamento e as multas incorridas por atraso na fase de reentrega. Portanto, sem considerar as tarefas de manutenção e reparo necessárias para cumprir com os protocolos de reentrega das aeronaves e sem considerar a multa cobrada por atraso no retorno das aeronaves, operar em um ritmo exagerado de utilização das aeronaves leva a uma disponibilidade maior (7,55 pontos percentuais) e um custo menor (34% menor) que operar com um ritmo de utilização padrão coerente.

#### 4.4 Comparação: Diferentes Protocolos de Reentrega

Após o cálculo da disponibilidade e dos custos ao longo do período de arrendamento das aeronaves do sistema nas cinco estratégias de operação, foi feita a comparação com relação a capacidade de cada uma delas em cumprir diferentes protocolos de reentrega retirados da literatura. No primeiro protocolo, os motores são entregues com 4.500 ciclos de voo restantes e os componentes com 6.000 horas de voo restantes até a próxima manutenção preventiva como mostra a **Tabela 12** abaixo. Ao retornar as aeronaves para o arrendador, o arrendatário deve entregá-las da mesma forma que as recebeu como mencionado na literatura anteriormente.

Tabela 12 – Protocolo 1 de reentrega.

<b>Protocolo 1</b>		
<b>Itens</b>	<b>Condições na entrega</b>	<b>Condições no retorno</b>
<b>Motores</b>	4.500 ciclos de voo até a próxima manutenção (em cada motor);	4.500 ciclos de voo até a próxima manutenção (em cada motor);
<b>Componentes</b>	6.000 horas de voo até a próxima manutenção;	6.000 horas de voo até a próxima manutenção;

Após o período de dez anos de operação simulado, verificou-se qual a quantidade de ciclos de voo restantes para os motores e a quantidade de horas de voo restantes para

os componentes em cada estratégia de operação para o cálculo do custo necessário para cumprir com o protocolo de reentrega em cada uma das estratégias.

Operando a frota na estratégia 1, todos os componentes e motores, ao final do período de dez anos de arrendamento, passaram por todas as manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo de reentrega. Os componentes apresentavam menos de 6.000 horas de voo e os motores menos de 4.500 ciclos de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado na seção anterior de US\$ 1,22 Bi, operar na estratégia 1 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,25 Bi com tarefas de manutenção para cumprir com o protocolo 1 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 13** abaixo. O custo total desse sistema operando na estratégia 1 passa a ser de US\$ 1,47 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 1 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo, adiando com certa frequência algumas tarefas de manutenção preventiva, portanto ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com todas as tarefas de manutenção para a reentrega.

Tabela 13 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 1 no protocolo 1.

ESTRATÉGIA 1 - PROTOCOLO 1		
ITEM	Quantidade Tarefas realizadas na reentrega	Custo Final do contrato
ITEM 26	25	\$ 7.762.500,00
ITEM 27	25	\$ 7.100.000,00
ITEM 35	25	\$ 8.900.000,00
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	50	\$ 15.600.000,00
ITEM 57	25	\$ 8.900.000,00
<b>Total</b>	<b>200</b>	<b>\$ 248.262.500,00</b>

Quando a operação é simulada na estratégia 2, verifica-se um comportamento diferente. Ao finalizar o período de arrendamento, apenas dois componentes e os motores apresentavam menos de 6.000 horas de voo e os motores menos de 4.500 ciclos de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado na seção anterior de US\$ 1,36 Bi, operar na estratégia 2 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,22 Bi com tarefas

de manutenção para cumprir com o protocolo 1 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 14** abaixo. O custo total operando na estratégia 2 passa a ser de US\$ 1,58 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 2 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas em um ritmo de utilização maior que o padrão coerente como na estratégia 1, porém de forma mais moderada. Ainda assim ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com três das seis tarefas de manutenção preventiva modelas para essa operação.

Tabela 14 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 2 no protocolo 1.

ESTRATÉGIA 2 - PROTOCOLO 1		
ITEM	Quantidade Tarefas realizadas na reentrega	Custo Final do contrato
ITEM 26	25	\$ 7.762.500,00
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	25	\$ 8.900.000,00
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>\$ 216.662.500,00</b>

Quando a operação é simulada na estratégia 3, verifica-se um comportamento diferente. Ao finalizar o período de arrendamento, apenas um componente e os motores apresentavam menos de 6.000 horas de voo e os motores menos de 4.500 ciclos de voo restantes até a próxima manutenção. Dessa forma, além do custo no ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,47 Bi, operar na estratégia 3 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,21 Bi com as tarefas de manutenção para cumprir o protocolo 1 da fase reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 15**.

O custo total operando na estratégia 3 passa a ser US\$ 1,68 Bi. Esse comportamento é explicado pelas características da operação da estratégia 3, sendo uma operação com um ritmo utilização das aeronaves acima do padrão coerente, que utiliza uma taxa de extensão nas tarefas de manutenção preventiva de 20%. Dessa forma, apresenta um custo na fase de reentrega com as manutenções menor que as estratégias 1 e 2, pois já realizou as grandes manutenções durante o período de arrendamento.

Tabela 15 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 3 no protocolo 1.

ESTRATÉGIA 3 - PROTOCOLO 1		
ITEM	Quantidade Tarefas realizadas na reentrega	Custo Final do contrato
ITEM 26	25	\$ 7.762.500,00
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>75</b>	<b>\$ 207.762.500,00</b>

Na estratégia 4, ao finalizar o período de arrendamento, todos os componentes apresentavam 6.000 horas de voo restantes até a próxima manutenção, sendo necessário apenas tarefas de manutenção para os motores. Dessa forma, além do custo no ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,52 Bi, operar na estratégia 4 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,14 Bi com as tarefas de manutenção para cumprir o protocolo 1 da fase reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 16**. O custo total operando na estratégia 4 passa a ser US\$ 1,66 Bi.

Tabela 16 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 4 no protocolo 1.

ESTRATÉGIA 4 - PROTOCOLO 1		
ITEM	Quantidade Tarefas realizadas na reentrega	Custo Final do contrato
ITEM 26	0	\$ -
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	36	\$ 144.000.000,00
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>\$ 144.000.000,00</b>

Quando a operação é simulada na estratégia 5, verifica-se um comportamento semelhante ao da estratégia 4. Ao finalizar o período de arrendamento, todos os componentes apresentavam 6.000 horas de voo restantes até a próxima manutenção,



sendo necessário apenas tarefas de manutenção para os motores de algumas aeronaves. Dessa forma, além do custo no ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,64 Bi, operar na estratégia 5 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,05 Bi com as tarefas de manutenção para cumprir o protocolo 1 da fase reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 17**.

O custo total operando na estratégia 5 passa a ser US\$ 1,69 Bi. Esse comportamento é explicado pelas características da operação da estratégia 5, sendo uma operação com um ritmo padrão coerente de utilização das aeronaves, que cumpre com as tarefas de manutenção preventiva sempre no prazo correto, sem a utilização de tolerância e sem adiar tarefas.

Tabela 17 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 5 no protocolo 1.

ESTRATÉGIA 5 - PROTOCOLO 1		
ITEM	Quantidade Tarefas realizadas na reentrega	Custo Final do contrato
ITEM 26	0	\$ -
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	12	\$ 48.000.000,00
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>\$ 48.000.000,00</b>

Além dos custos com as manutenções na fase de reentrega, de acordo com a IATA (2015), o preço do arrendamento costuma aumentar mais de 100% do preço contratado e acordado quando ocorre atraso na reentrega das aeronaves. Sendo assim, como mostra a **Tabela 18**, o valor da multa por mês a ser paga pelo arrendatário durante o atraso na devolução da aeronave representa 100% do valor do aluguel. Ou seja, a cada mês de atraso após a data acordada da reentrega das aeronaves, o arrendatário passa a ter um custo de US\$ 710.000 por mês por aeronave.

Tabela 18 – Valor do arrendamento por mês por aeronave com multa.

Valor arrendamento por mês por aeronave	Valor arrendamento por mês por aeronave com multa
US\$ 355.000	US\$ 710.000

Dessa forma, realizou-se uma modelagem dos custos referentes a essa multa para cada estratégia de operação e de suporte no protocolo 1. Para definir qual a duração de cada tarefa de manutenção preventiva em meses, utilizou-se dois técnicos trabalhando 10 horas por dia e 20 dias por mês. Sendo assim, tem-se a duração (em meses) de cada tarefa como mostra a **Tabela 19**.

Tabela 19 – Duração de cada tarefa de manutenção preventiva na fase de reentrega.

Item	Duração (h)	Meses
Item 26	621	2
Item 27	568	2
Item 35	712	2
Item 41	1760	4
Item 42	624	2
Item 57	782	2

Adotou-se como premissa que todas as tarefas são não-concomitantes, ou seja, uma tarefa só inicia após o fim da tarefa anterior. Dessa forma, realizou-se o cálculo de quantos meses cada frota de cada estratégia atrasou devido as manutenções na fase de reentrega para o protocolo 1 e multiplicou-se pelo valor do aluguel com penalidade apresentado anteriormente. Sendo assim, a **Tabela 20** apresenta o valor da multa para cada estratégia de operação e suporte durante os meses de atraso na fase de reentrega para o protocolo 1.

Tabela 20 – Multa de atraso na fase de reentrega para Protocolo 1.

Protocolo 1		
Estratégia	Meses	Multa (Bi)
Estratégia 1	14	\$ 0,25
Estratégia 2	8	\$ 0,14
Estratégia 3	6	\$ 0,11
Estratégia 4	4	\$ 0,05
Estratégia 5	4	\$ 0,02

Considerando os custos totais de cada uma das estratégias até o fim da fase de reentrega, entende-se que as estratégias 4 e 5 de gerenciamento das operações e de suporte da frota apresentam o menor custo, como mostra a **Figura 16** abaixo. No entanto, com relação ao valor de desençaixe que cada estratégia precisa na fase de reentrega, a estratégia 4 apresenta o maior valor (US\$ 0,14), sendo 7 vezes maior que o valor de desençaixe da estratégia 5.

A estratégia 3, que apresenta uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 20%, apresenta o maior custo total entre todas as estratégias. Além disso, as estratégias 1 e 2 apresentam o mesmo custo total, considerando os custos durante o período de arrendamento, os custos com tarefas de manutenção preventiva na fase de reentrega e os custos com as multas devido ao atraso em retornar as aeronaves. No entanto, a estratégia 1 apresenta um desentaxa maior na fase de reentrega. Operar uma frota com um ritmo de utilização exagerado, utilizando uma alta taxa de extensão do prazo de manutenção preventiva, pode levar a um custo menor durante os anos de operação, no entanto, pode levar a um desentaxa maior na fase de reentrega.

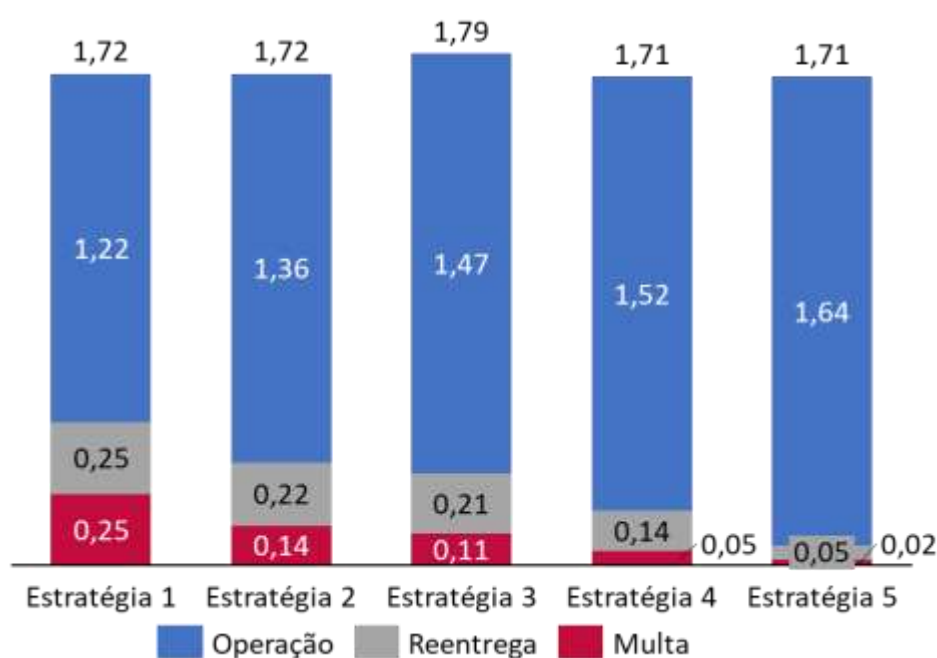


Figura 16 – Custos totais após a fase de reentrega para o protocolo 1.

Portanto, frente ao protocolo 1 de reentrega, entende-se que operar uma frota em um ritmo de utilização padrão coerente como na estratégia 5 ou utilizando uma taxa de extensão do prazo de manutenção preventiva de 10% como na estratégia 4, pode levar a um custo menor quando comparado às demais estratégias. Utilizar as aeronaves em seu nível máximo sem considerar as operações e o impacto no suporte a médio e longo prazo, como mostram as estratégias 1 e 2, pode levar a um custo maior que a utilização padrão coerente, considerando os custos durante o arrendamento, os custos com manutenção preventiva e as multas de atraso. Com relação ao custo da fase de reentrega e das multas de atraso, operar com um ritmo exagerado de utilização das aeronaves pode levar a um desentaxa maior (US\$ 0,50).

No segundo protocolo de reentrega de um contrato de arrendamento também retirado da literatura, os motores são entregues com 6.000 horas de voo e 3.000 ciclos de voo (em cada motor) restantes até a próxima manutenção. Os componentes foram entregues com 4.500 ciclos de voo até a próxima manutenção e limite calendário de 24 meses. As especificações do protocolo 2 seguem na **Tabela 21** abaixo. Assim como no protocolo 1, ao retornar as aeronaves para o arrendador, o arrendatário deve entregá-las da mesma forma que as recebeu.

Tabela 21 – Protocolo 2 de reentrega.

<b>Protocolo 2</b>		
<b>Itens</b>	<b>Condições na entrega</b>	<b>Condições no retorno</b>
<b>Motores</b>	6.000 horas de voo até a próxima manutenção e 3.000 ciclos de voo (em cada motor);	6.000 horas de voo até a próxima manutenção e 3.000 ciclos de voo (em cada motor);
<b>Componentes</b>	4.500 ciclos de voo até a próxima manutenção e limite calendário de 24 meses;	4.500 ciclos de voo até a próxima manutenção e limite calendário de 24 meses;

Após o período de dez anos de operação simulado, verificou-se qual a quantidade de horas e ciclos de voo restantes para os motores e a quantidade de ciclos de voo restantes e limite calendário para os componentes em cada estratégia de operação para o cálculo do custo que o sistema vai ter para cumprir com o protocolo 2 de reentrega em cada uma das estratégias.

Na estratégia 1, todos os componentes e motores, ao final do período de dez anos de arrendamento, passaram por todas as manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo 2 de reentrega. Os componentes apresentavam menos de 4500 ciclos de voo e os motores menos de 6000 horas de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,22 Bi, operar na estratégia 1 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,23 Bi com tarefas de manutenção para cumprir com o protocolo 2 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 22** abaixo. O custo total desse sistema operando na estratégia 1 passa a ser de US\$ 1,45 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 1 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas em seu nível máximo, adiando com certa frequência algumas tarefas de manutenção

preventiva, portanto ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com todas as tarefas de manutenção para a reentrega.

No entanto, outro ponto importante é que para dada estratégia 1 de operação dentro desse sistema, avaliando os custos ao longo do período de arrendamento e os custos com manutenção preventiva, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que apresenta o protocolo 2 como protocolo de reentrega, visando minimizar os custos ao longo do período de arrendamento simulado (10 anos).

Tabela 22 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 1 no protocolo 2.

ESTRATÉGIA 1 - PROTOCOLO 2		
ITEM	Quantidade de tarefas realizadas na reentrega	Custo Reentrega
ITEM 26	6	\$ 1.863.000,00
ITEM 27	25	\$ 7.100.000,00
ITEM 35	13	\$ 4.628.000,00
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	26	\$ 8.112.000,00
ITEM 57	13	\$ 4.628.000,00
<b>Total</b>	<b>133</b>	<b>\$ 226.331.000,00</b>

Na estratégia 2, com exceção de um componente, todos os demais componentes e motores, ao final do período de dez anos de arrendamento, passaram por todas as manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo 2 de reentrega. Os componentes apresentavam menos de 4500 ciclos de voo e os motores menos de 6000 horas de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,36 Bi, operar na estratégia 2 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,23 Bi com tarefas de manutenção para cumprir com o protocolo 2 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 23** abaixo. O custo total desse sistema operando na estratégia 2 passa a ser de US\$ 1,59 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 2 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas em um ritmo de utilização maior que o padrão coerente como na estratégia 1, porém de forma mais moderada. Portanto ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com as tarefas de manutenção na fase de reentrega para quase todos os componentes e para todos os motores.

No entanto, outro ponto importante é que para dada estratégia 2 de operação, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que apresenta o protocolo 1 como protocolo de reentrega, visando minimizar os custos ao longo do período de arrendamento simulado (10 anos).

Tabela 23 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 2 no protocolo 2.

ESTRATÉGIA 2 - PROTOCOLO 2		
ITEM	Quantidade de tarefas realizadas na reentrega	Custo Reentrega
ITEM 26	25	\$ 7.762.500,00
ITEM 27	25	\$ 7.100.000,00
ITEM 35	12	\$ 4.272.000,00
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	24	\$ 7.488.000,00
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>\$ 226.622.500,00</b>

Na estratégia 3, ao final do período de dez anos de arrendamento, os motores e um componente passaram por todas as manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo 2 de reentrega. O componente apresentava menos de 4500 ciclos de voo e os motores menos de 6000 horas de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,47 Bi, operar na estratégia 3 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,21 Bi com tarefas de manutenção para cumprir com o protocolo 2 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 24** abaixo. O custo total desse sistema operando na estratégia 3 passa a ser de US\$ 1,68 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 3 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas em um ritmo de utilização maior que o padrão coerente como nas estratégias 1 e 2, porém de forma ainda mais moderada. Portanto ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com algumas tarefas de manutenção na fase de reentrega para um componente e para todos os motores.

No entanto, outro ponto importante é que para dada estratégia 3 de operação, os dois contratos de arrendamento apresentam os mesmos custos totais, considerando os

custos nos dez anos de arrendamento e os custos na fase de reentrega com manutenções preventivas.

Tabela 24 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 3 no protocolo 2.

ESTRATÉGIA 3 - PROTOCOLO 2		
ITEM	Quantidade de tarefas realizadas na reentrega	Custo Reentrega
ITEM 26	0	\$ -
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	24	\$ 7.488.000,00
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>74</b>	<b>\$ 207.488.000,00</b>

Na estratégia 4, ao final do período de dez anos de arrendamento, somente os motores passaram pelas manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo 2 de reentrega. Os motores apresentavam menos de 6000 horas de voo restantes até a próxima manutenção. Sendo assim, além do custo durante o ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,52 Bi, operar na estratégia 4 ao longo desses dez anos faz com que a operadora ainda tenha um custo de US\$ 0,20 Bi com tarefas de manutenção para cumprir com o protocolo 2 de reentrega das aeronaves, como mostra a **Tabela 25** abaixo. O custo total desse sistema operando na estratégia 4 passa a ser de US\$ 1,72 Bi. Isso se deve ao fato de que a estratégia 4 se caracteriza por uma operação em que as aeronaves são utilizadas com uma taxa de extensão nos prazos de manutenção preventiva de 10% se aproximando de uma operação com um ritmo de utilização padrão coerente. Portanto ao finalizar o período de arrendamento deve-se cumprir com algumas tarefas de manutenção na fase de reentrega para todos os motores.

No entanto, outro ponto importante é que para dada estratégia 4 de operação, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que apresenta o protocolo 1 como protocolo de reentrega, visando minimizar os custos ao longo do período de arrendamento simulado (10 anos).

Tabela 25 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 4 no protocolo 2.

ESTRATÉGIA 4 - PROTOCOLO 2		
ITEM	Quantidade de tarefas realizadas na reentrega	Custo Reentrega
ITEM 26	0	\$ -
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	50	\$ 200.000.000,00
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>\$ 200.000.000,00</b>

Da mesma forma que no protocolo 1, quando a operação é simulada na estratégia 5, verifica-se um comportamento diferente. Ao finalizar o período de arrendamento, todos os componentes apresentavam 4.500 ciclos de voo restantes e limite calendário de 24 meses até a próxima manutenção. Além disso, os motores apresentavam 6.000 horas de voo e 3.000 ciclos de voo restantes até a próxima manutenção. Dessa forma, não foi necessário executar nenhuma tarefa de manutenção na fase de reentrega, pois todas as manutenções necessárias haviam sido feitas durante o período de arrendamento, como mostra a **Tabela 26** abaixo.

Portanto, o custo no ciclo de arrendamento simulado de US\$ 1,64 Bi é o único custo do sistema operando na estratégia 5 e cumprindo com o protocolo 2 de reentrega das aeronaves, pois não haverá necessidade de realizar tarefas de manutenção antes de retornar a frota ao arrendador.



Tabela 26 – Quantidade de tarefas necessárias antes da reentrega das aeronaves para estratégia 5 no protocolo 2.

ESTRATÉGIA 5 - PROTOCOLO 2		
ITEM	Quantidade de tarefas realizadas na reentrega	Custo Reentrega
ITEM 26	0	\$ -
ITEM 27	0	\$ -
ITEM 35	0	\$ -
ITEM 41	0	\$ -
ITEM 42	0	\$ -
ITEM 57	0	\$ -
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>\$ -</b>

Esse comportamento é possível e explicado pelas características da operação da estratégia 5, sendo uma operação com um ritmo padrão coerente de utilização das aeronaves, que cumpre com as tarefas de manutenção preventiva sem a utilização de uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas.

Para a estratégia 5 de operação desse sistema, considerando os custos ao longo do período de arrendamento e na fase de reentrega também se entende que a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que apresenta o protocolo 2 como protocolo de reentrega, visando minimizar os custos ao longo do período de arrendamento simulado (10 anos).

Além dos custos com as manutenções na fase de reentrega, realizou-se uma modelagem dos custos referentes às multas de atraso para cada estratégia de operação e de suporte conforme foi feito para o protocolo 1. Adotou-se como premissa que todas as tarefas são não-concomitantes, ou seja, uma tarefa só inicia após o fim da tarefa anterior. Dessa forma, realizou-se o cálculo de quantos meses cada frota de cada estratégia atrasou devido as manutenções na fase de reentrega para o protocolo 2 e multiplicou-se pelo valor do aluguel com penalidade apresentado anteriormente. Sendo assim, a **Tabela 27** apresenta o valor da multa para cada estratégia de operação e suporte durante os meses de atraso na fase de reentrega para o protocolo 1.

Tabela 27 – Multa de atraso na fase de reentrega para Protocolo 2.

<b>Protocolo 2</b>		
<b>Estratégia</b>	<b>Meses</b>	<b>Multa (Bi)</b>
Estratégia 1	14	\$ 0,25
Estratégia 2	12	\$ 0,21
Estratégia 3	6	\$ 0,11
Estratégia 4	4	\$ 0,07
Estratégia 5	0	\$ -

Considerando os custos totais de cada uma das estratégias até o fim da fase de reentrega, entende-se que a estratégia 5 de gerenciamento das operações e de suporte da frota apresenta o menor custo, uma vez que todas as manutenções foram realizadas durante o período de arrendamento e ao chegar na fase de reentrega os motores e componentes apresentavam os requisitos necessários para devolução, sem a necessidade de realização da manutenção preventiva. A comparação entre os custos totais das cinco estratégias para atender ao protocolo 2 do contrato de arrendamento pode ser observada pela **Figura 17**.

As estratégias 3 e 4, que apresentam uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 20% e 10% respectivamente, apresentam um custo total mais elevado que a estratégia 5 enquanto a estratégia 2 apresenta o maior custo total dentre todas as estratégias. Além disso, a estratégia 1 que representa um ritmo de utilização exagerado da frota com uma taxa de 90% de extensão no prazo das manutenções corretivas apresentam um custo total menor que menor que as estratégias 2, 3 e 4, no entanto apresenta um descaixe maior na fase de reentrega. Operar uma frota com um ritmo de utilização exagerado, utilizando uma alta taxa de extensão do prazo de manutenção preventiva, pode levar a um custo menor durante os anos de operação, no entanto, pode levar a um descaixe maior na fase de reentrega, tanto para o protocolo 1 como para o protocolo 2.

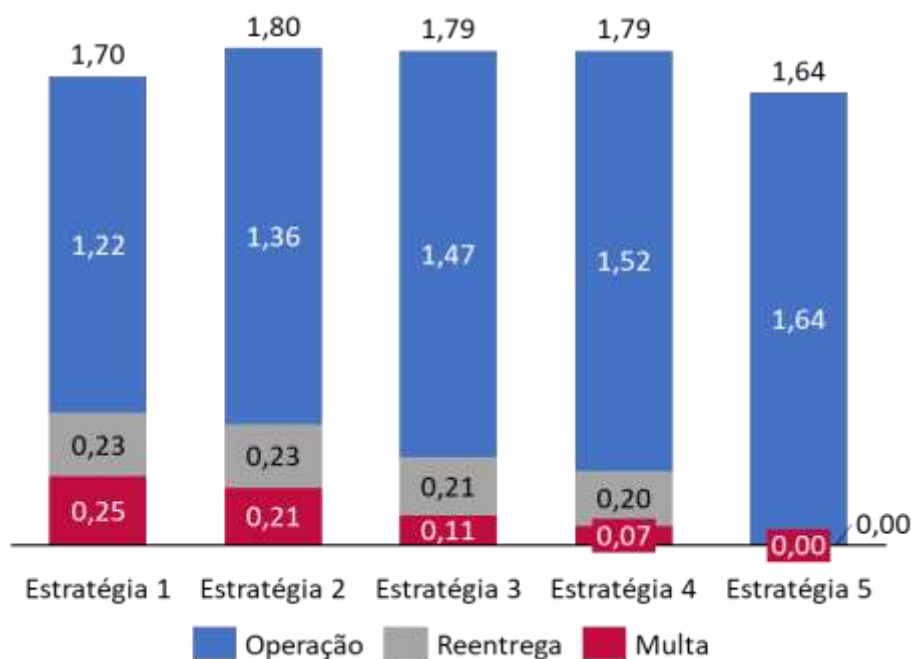


Figura 17 – Custos totais após a fase de reentrega para o protocolo 2.

Em relação às diferentes estratégias de operação, observando os custos totais, é importante observar que a melhor opção de contrato de arrendamento varia. Para a estratégia 1 de operação, a escolha ideal é aquela que apresenta o protocolo 2 como protocolo de reentrega, visando minimizar os custos ao longo do período de arrendamento simulado (10 anos). Na estratégia 2 de operação, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que utiliza o protocolo 1 como protocolo de reentrega, com o objetivo de reduzir os custos durante o período de arrendamento simulado. Já na estratégia 3 de operação, ambos os protocolos apresentam custos totais iguais. Na estratégia 4 de operação, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que utiliza o protocolo 1 como protocolo de reentrega, com a finalidade de minimizar os custos ao longo dos 10 anos de arrendamento simulado. Por fim, na estratégia 5 de operação, a melhor opção de contrato de arrendamento é aquela que utiliza o protocolo 2 como protocolo de reentrega, também com o objetivo de reduzir os custos ao longo do período de arrendamento simulado de 10 anos.

#### **4.5 Avaliação do Impacto no Comportamento da Taxa de Falha Devido às Extensões nos Prazos de Manutenção Preventiva**

Por fim, foi realizada uma modelagem na estratégia 3 com o objetivo de prever o impacto no comportamento da taxa de falha dos componentes, decorrente das extensões

realizadas nos prazos de manutenção preventiva. Ao utilizar o prazo de extensão além do prazo padrão de realização da tarefa de manutenção preventiva, os componentes apresentam um risco maior de falha. Portanto, além dos custos previamente modelados, pode ocorrer um acréscimo de despesas relacionado ao aumento das manutenções corretivas durante o período de arrendamento.

A estratégia escolhida para realizar a avaliação do impacto no comportamento da taxa de falha devido às extensões foi a estratégia 3, pois apresenta uma taxa de extensão mais realista (20%). Dessa forma, foi realizada inicialmente uma comparação da frequência a ser realizada a manutenção preventiva em cada item com e sem as extensões nos prazos, conforme mostra a **Tabela 28**. Avaliando para o cenário de dez anos de arrendamento e por uma frequência anual de realização das tarefas de manutenção preventiva, pode-se perceber que apenas os itens 41 e 57 são impactados com a taxa de extensão nos prazos de 20% da estratégia 3. No item 41 sem taxa de extensão no prazo da manutenção preventiva, a tarefa é realizada a cada sete anos de operação, no entanto com a taxa de extensão de 20%, ela passa a ser realizada a cada nove anos de operação. No item 57 sem taxa de extensão no prazo da manutenção preventiva, a tarefa é realizada a cada dois anos de operação, no entanto com a taxa de extensão de 20%, ela passa a ser realizada a cada três anos de operação.

Tabela 28 – Frequência a ser realizada a manutenção preventiva em cada item com e sem as extensões nos prazos.

ITEM	Frequência por ano sem taxa de extensão	Frequência por ano operando na Estratégia 3 (20% de extensão)
ITEM 26	2	2
ITEM 27	1	1
ITEM 35	1	1
<b>ITEM 41</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
ITEM 42	0	0
<b>ITEM 57</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Sendo assim, nesse intervalo entre o prazo sem extensão em que a tarefa deveria ser feita e o prazo em que a tarefa foi realizada utilizando a extensão, pode ocorrer um impacto no comportamento da taxa de falha desses itens. Esses dois itens podem vir a ter uma chance maior de falhar nesse período. Nas modelagens realizadas nos capítulos anteriores, esse impacto não foi modelado e a taxa de falha foi considerada constante.

Para realizar uma modelagem capaz de capturar esse impacto no comportamento da taxa de falha desses itens, optou-se por utilizar uma modelagem por fases. Essas diferentes fases se diferem pela taxa de falha dos itens 41 e 57. Em cada fase a taxa de falha é considerada constante. Portanto, conforme mostra a **Tabela 29**, entre o início do período de arrendamento (ano 0) até o segundo ano de operação (ano 2), as taxas de falha permaneceram constantes. No segundo ano de operação, a tarefa de manutenção preventiva do item 57 não foi realizada, dessa forma a taxa de falha desse item no terceiro ano de operação foi ajustada em 20% para capturar o impacto de se estender o prazo da manutenção preventiva. Como a tarefa de manutenção preventiva foi realizada no fim do terceiro ano de operação, no ano seguinte considerou-se que a taxa de falha do item voltou a ser a taxa de falha inicial. Para o item 41, conforme pode-se observar na **Tabela 29**, entre o início do período de arrendamento (ano 0) até o sétimo ano de operação (ano 7), as taxas de falha permaneceram constantes. No sétimo ano de operação, a tarefa de manutenção preventiva do item 41 não foi realizada, dessa forma a taxa de falha desse item no oitavo ano de operação foi ajustada em 20% para capturar o impacto de se estender o prazo da manutenção preventiva. Nos anos seguintes (ano 9 e ano 10), a taxa sofreu um ajuste consecutivo de 20%, pois a manutenção preventiva só seria realizada no ano 11. No entanto, como o contrato de arrendamento é de dez anos, essa tarefa seria realizada na fase de reentrega.

Tabela 29 – Distribuição da taxa de falha ao longo dos anos para a modelagem em fases.

Taxa de Falha	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
<b>ITEM 26</b>	<b>150,18</b>	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18	150,18
<b>ITEM 27</b>	<b>92,42</b>	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42	92,42
<b>ITEM 35</b>	<b>11,55</b>	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55	11,55
<b>ITEM 41</b>	<b>6,77</b>	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	<b>8,12</b>	<b>9,75</b>	<b>6,77</b>
<b>ITEM 42</b>	<b>17,33</b>	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33
<b>ITEM 57</b>	<b>103,97</b>	103,97	103,97	<b>124,76</b>	103,97	103,97	<b>124,76</b>	103,97	103,97	<b>124,76</b>	103,97

A modelagem foi realizada por fases no software OPUS®, nas quais foram modificadas as taxas de falha de acordo com a **Tabela 29**. Para avaliar o impacto no comportamento das taxas de falha devido às extensões, verificou-se a quantidade de tarefas corretivas no período de arrendamento na modelagem da estratégia 3 de operação e suporte considerando a mesma taxa de falha em todos os anos de operação e na

modelagem feita por fases conforme a **Tabela 29** acima. A diferença na quantidade de tarefas corretivas pode ser vista na **Tabela 30**. A diferença entre a quantidade de tarefas corretivas realizadas, quando se realizou a modelagem do impacto das extensões no comportamento da taxa de falha para a estratégia 3, é de 6% a mais para o item 41 e 5% a mais para o item 57.

Tabela 30 – Diferença na quantidade de tarefas corretivas quando o impacto no comportamento da taxa da falha é modelado.

ITEM	Quantidade de tarefas corretivas com a taxa de falha constante	Quantidade de tarefas corretivas com a taxa de falha impactada pelas extensões	Diferença na quantidade de tarefas realizadas
ITEM 26	67,07	67,07	0%
ITEM 27	41,27	41,27	0%
ITEM 35	5,16	5,16	0%
ITEM 41	<b>6,05</b>	<b>6,40</b>	<b>6%</b>
ITEM 42	15,48	15,48	0%
ITEM 57	<b>46,43</b>	<b>48,97</b>	<b>5%</b>

Dessa forma, entende-se que ao optar por utilizar uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas pode ocorrer um impacto no comportamento da taxa de falha desses itens durante o período de extensão. A extensão dos prazos pode levar a um aumento do risco de falhas, o que poderia resultar em mais tarefas corretivas executadas no mesmo período, como mostra a tabela BB e, conseqüentemente, em um custo maior com essas tarefas. Assim, ao realizar a modelagem do impacto no comportamento da taxa de falha decorrente das extensões nos prazos de manutenção preventiva, fica evidente que há a possibilidade de enfrentar custos adicionais com manutenções corretivas, além custos previamente mencionados.

## 5 Conclusão

Em diversos casos, o processo de reentrega pode acarretar custos e dificuldades inesperados, chegando a comprometer a relação custo-benefício do arrendamento como um todo. Portanto, pode-se concluir que a maneira como o gerenciamento da frota é conduzido, do ponto de vista de sua suportabilidade, pode levar a uma degradação significativa na saúde das aeronaves arrendadas, prejudicando o processo de reentrega e seus custos associados.

Na análise comparativa entre a disponibilidade e os custos ao longo do período de dez anos de arrendamento, foi observado que a estratégia 1, que envolve a operação das aeronaves em seu nível máximo, apresenta uma maior disponibilidade média em comparação com as estratégias 2, 3, 4 e 5, que adotam um ritmo de utilização mais moderado ou coerente. Além disso, a estratégia 1 demonstra um custo menor na fase de operação em comparação às outras estratégias. Por operar com as aeronaves mais tempo disponíveis para cumprir suas missões, a estratégia 1 também lida com uma quantidade maior de tarefas de manutenção corretiva e preventiva. No entanto, é importante ressaltar que os custos relacionados às manutenções necessárias para cumprir os protocolos na fase de reentrega e as multas de atraso não foram considerados até o momento. Com base nas informações disponíveis até esse ponto do estudo, conclui-se que operar o sistema utilizando as aeronaves em seu nível máximo pode parecer vantajoso considerando os indicadores de disponibilidade e custos. Contudo, é necessário analisar cuidadosamente os custos adicionais relacionados à fase de reentrega e a possibilidade de multas por atrasos para uma avaliação completa da efetividade da estratégia 1 em relação às demais.

Avaliando a frota na estratégia 1, todos os componentes e motores, ao final do período de dez anos de arrendamento, passaram por todas as manutenções necessárias para serem entregues conforme o protocolo de reentrega 1. Quando a operação é simulada na estratégia 2 verifica-se que ao finalizar o período de arrendamento, apenas dois componentes e os motores realizaram as manutenções necessárias para serem entregues conforme protocolo de reentrega 1. Quando a operação é simulada na estratégia 2 verifica-se que ao finalizar o período de arrendamento, apenas um componente e os motores apresentavam menos de 6.000 horas de voo e os motores menos de 4.500 ciclos de voo restantes até a próxima manutenção. Quando a operação é simulada na estratégia 3 verifica-se que ao finalizar o período de arrendamento, todos os componentes

apresentavam 6.000 horas de voo restantes até a próxima manutenção, sendo necessário apenas tarefas de manutenção para os motores. Quando a operação é simulada na estratégia 5, verifica-se um comportamento semelhante ao da estratégia 4. Ao finalizar o período de arrendamento, todos os componentes apresentavam 6.000 horas de voo restantes até a próxima manutenção, sendo necessário apenas tarefas de manutenção para os motores de algumas aeronaves.

Dessa forma, por meio da modelagem do sistema e avaliação da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial, frente ao protocolo 1 de reentrega, entende-se que operar uma frota em um ritmo de utilização padrão coerente como na estratégia 5 ou utilizando uma taxa de extensão do prazo de manutenção preventiva de 10% como na estratégia 4, pode levar a custo menor quando comparado às demais estratégias. Utilizar as aeronaves em seu nível máximo sem considerar as operações e o impacto no suporte a médio e longo prazo, como mostram as estratégias 1 e 2, pode levar a um custo maior que na utilização padrão coerente, considerando os custos durante o arrendamento, os custos com manutenção preventiva e as multas de atraso. Com relação ao custo da fase de reentrega e das multas de atraso, operar com um ritmo exagerado de utilização das aeronaves pode levar um desencaixe maior (US\$ 0,50).

Frente ao protocolo 2, considerando os custos totais de cada uma das estratégias até o fim da fase de reentrega, entende-se que a estratégia 5 de gerenciamento das operações e de suporte da frota apresenta o menor custo, uma vez que todas as manutenções foram realizadas durante o período de arrendamento e ao chegar na fase de reentrega os motores e componentes apresentavam os requisitos necessários para devolução, sem a necessidade de realização da manutenção preventiva. As estratégias 3 e 4, que apresentam uma taxa de extensão no prazo das manutenções preventivas de 20% e 10% respectivamente, apresentam um custo total mais elevado que a estratégia 5 enquanto a estratégia 2 apresenta o maior custo total dentre todas as estratégias. Além disso, a estratégia 1 que representa um ritmo de utilização exagerado da frota com uma taxa de 90% de extensão no prazo das manutenções corretivas apresentam um custo total menor que menor que as estratégias 2, 3 e 4, no entanto apresenta um desencaixe maior na fase de reentrega. Operar uma frota com um ritmo de utilização exagerado, utilizando uma alta taxa de extensão do prazo de manutenção preventiva, pode levar a um custo



menor durante os anos de operação, no entanto, pode levar a um descaixe maior na fase de reentrega, tanto para o protocolo 1 como para o protocolo 2.

Foram calculados os custos durante o período de arrendamento, na fase de reentrega e os custos com a penalidade aplicada ao aluguel das aeronaves quando ocorre atraso na fase de reentrega. No entanto, para esses cálculos a taxa de falha dos componentes foi considerada constante, mas ao utilizar o prazo de extensão além do prazo padrão de realização da tarefa de manutenção preventiva, os componentes podem apresentar um risco maior de falha. Portanto, além dos custos previamente modelados, pode ocorrer um acréscimo de despesas relacionado ao aumento das manutenções corretivas durante o período de arrendamento.

O objetivo principal deste trabalho foi atingido e consistiu em modelar uma frota, a operação e a infraestrutura de suporte logístico integrado para uma operação aérea hipotética, inspirada em cenário real, abordando cinco estratégias distintas de gerenciamento das operações e suporte da frota. Através dessa modelagem, foi possível analisar a relação custo-benefício do suporte fornecido durante a operação e a capacidade da operadora aérea de reentregar as aeronaves, seguindo dois protocolos estabelecidos por um contrato de arrendamento. Para a avaliação, foram utilizados indicadores como disponibilidade e custo total ao longo do período de arrendamento. Adicionalmente, o estudo incluiu uma análise do impacto no comportamento da taxa de falha, quando ocorreu o uso de extensões nos prazos de manutenção preventiva.

É possível concluir que um maior entendimento, tanto em âmbito acadêmico quanto aplicado na prática, da relação custo-benefício do suporte e do gerenciamento da frota, pode ter um impacto significativo na capacidade das companhias aéreas de reentregar as aeronaves ao final de um contrato de arrendamento. A conscientização detalhada do que ocorre durante a operação e do estado da aeronave em relação às manutenções pode auxiliar as companhias aéreas a se prepararem adequadamente para a fase de reentrega. Esse conhecimento mais profundo permite que as empresas tomem decisões informadas e eficientes para maximizar a eficácia das operações e garantir uma transição suave no término do contrato.

Do ponto de vista acadêmico, nota-se a existência de uma lacuna em relação a uma abordagem que utilize a modelagem do suporte integrado de uma frota de aeronaves arrendadas, com o objetivo de avaliar o impacto da relação custo-benefício desse suporte na capacidade das operadoras aéreas de reentregar essas aeronaves de acordo com os

protocolos estabelecidos no contrato de arrendamento. Através do desenvolvimento deste trabalho, fica evidente que o gerenciamento do ciclo de vida das aeronaves dentro do contrato de arrendamento pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar as operadoras aéreas a se prepararem de forma mais eficiente e estratégica para a fase de reentrega das aeronaves. Do ponto de vista prático, as companhias aéreas buscam gerenciar as manutenções de acordo com os períodos de alta e baixa demanda, realizando as manutenções preventivas geralmente durante a baixa temporada. No entanto, durante a alta temporada, essas manutenções podem ser adiadas ou antecipadas. Nesse contexto, observa-se que não há uma abordagem voltada para o gerenciamento do ciclo de vida da frota e do suporte durante o arrendamento.

Dessa forma, a hipótese de que se diferentes estratégias de gerenciamento do suporte fossem modeladas, do ponto de vista de sua relação custo-benefício, para o período de arrendamento de aeronaves, então seria possível ter visibilidade e entendimento de qual a melhor decisão do ponto de vista de suporte e ritmo de utilização da frota durante o período de arrendamento a utilizada, foi confirmada.

Como sugestão de trabalhos futuros, entende-se a necessidade de avaliar nas diferentes estratégias de gerenciamento das operações e suporte, quando ocorre o uso de extensões no prazo de manutenção preventiva, o impacto no comportamento da taxa de falha dos itens e conseqüentemente na quantidade de tarefas corretivas a serem realizadas. Além disso, nesse trabalho foi utilizada a taxa de falha dos componentes constantes, mas para trabalhos futuros isso pode ser flexibilizado.

Entende-se também a necessidade de avaliar qual seria o tamanho ideal de uma frota para uma dada operação, infraestrutura de suporte e protocolos de reentrega, envolvendo mais de um arrendador. Além disso, entender qual seria a melhor distribuição dessas aeronaves dentro das bases de operação e de acordo com o perfil operacional.

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>.

## Referências

ACKERT, S. Basics of aircraft maintenance reserve development and management. forming a policy to identify ideal assets for long-term economic returns. **Aircraft Monitor**, v. 1.0, August, 2012.

ACKERT, S. Redelivery considerations in aircraft operating leases: guidelines and best practices to ease transferability of aircraft. **Aircraft Monitor**, v. 1.0, October, 2014.

AIRCRAFT COMMERCE. Best industry practice for aircraft lease transitions. **Aircraft Trading and the After Market**, n. 110, February-March, 2017.

ASD/AIA SX000i. **International specification for integrated product support (IPS) specifications**. 2021. Disponível em: <https://www.sx000i.org/>. Acesso em: 18 abr. 2022.

AZUL. **Release de resultados 1T23**. 2023. Disponível em: <https://ri.voeazul.com.br/informacoes-e-relatorios/resultados-trimestrais/>. Acesso em: 25 Jun. 2023.

BACKHAUS, J. The pareto principle. **Analyse und Kritik**, v. 2, n. 2, p. 146-171, 1980.

BENDIA, R. C. S. 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.

BJELICIC, B. Financing airlines in the wake of the financial markets crisis. **Journal of Air Transport Management**, v. 21, p. 10-16, 2012.  
doi:10.1016/j.jairtraman.2011.12.012.

BLANCHARD. B. S. **Logistics engineering and management**. 5<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

BURHANI, S.; VERHAGEN, W. J.; CURRAN, R. Measuring compliance during aircraft (component) redeliveries at KLM Engineering & Maintenance. Transdisciplinary Engineering: Crossing Boundaries - Proceedings of the 23<sup>rd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING (ISPE), 23., 2016. Curitiba, Parana. Proceedings [...].Curitiba, Parana: ISPE, October 3-7, 2016.

CAMPAGNON, A. C. **OEM'S practices to act as an effective third party facilitator in aircraft redelivery processes**. 2020. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2023.

COOPER, R.; KAPLAN, R. S. Measure costs right: make the right decisions. **Harvard Business Review**, v. 66, n. 5, p. 96-103, 1988.

DALKEY, N.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. **Management Science**, v. 9, n. 3, p. 458-467, 1963.

FERREIRA, D.; HORNINCK, D.; SANT'ANA, F. **Aircraft leasing and life cycle cost management: road map for closing the gap between strategy and results**. 2020, 58 f. Capstone Project (Aviation Management Certificate Program) – Embry-Riddle Aeronautical University; Instituto de Transporte e Logística, São Paulo, 2020.

FIGUEIREDO, M. C.; SCANFONE, L.; MOTA, D. C. Análise do impacto do turnaround time de reparáveis na disponibilidade da frota do projeto C-95M. **Revista Defesa e Segurança**, v. 4, p. 42-60, 2019.

FLOYD, D.; REYES, M. **Application of the integrated product support elements by the F-35 joint program office**. Belvoir Road, Fort Belvoir, VA: Defense Acquisition University, 2014.

GOL. **Relatório de resultados primeiro trimestre de 2023**. 2023. Disponível em: [https://ri.voegol.com.br/default\\_pt.asp?idioma=0&conta=28](https://ri.voegol.com.br/default_pt.asp?idioma=0&conta=28). Acesso em: 25 jun. 2023.

GOMES, S. B. V.; FONSECA, P. V. D. R.; QUEIROZ, V. D. S. O financiamento a arrendadores de aeronaves: modelo do negócio e introdução à análise de risco do leasing aeronáutico. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 129-172, 2013.

GRAVES, S. C. A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment. **Management Science**, v. 31, p. 1247 a 1256, Outubro de 1985.

GUZHVA, V. S.; RAGHAVAN, S.; D'AGOSTINO, D. J. **Aircraft leasing and financing: tools for success in international aircraft acquisition and management**. 1<sup>st</sup> edition. London: Elsevier, 2018.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION – IATA. **Guidance material and best practices for aircraft leases ii**. 2<sup>nd</sup> Edition, May 2015, 125 p.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION – IATA. **Guidance material and best practices for aircraft leases** 4<sup>th</sup> Edition. 2017.

INTERNATIONAL BUREAU OF AVIATION – IBA. **Redelivery expenditure – minimizing surprises and maximising cashflow**. United Kingdom: IBA, October 2015.

INTERNATIONAL BUREAU OF AVIATION – IBA. **Redeliveries revisited closing the perception gap between lessors and lessees**, United Kingdom: IBA, October 2016.

LATAM. **Resultados 1T 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.latamairlinesgroup.net/pt-pt>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LEE, T. **Optimization vs. simulation**. KISTERS North America, 2015, p. 1-4.

MILSTEIN, D. **Redelivery de aeronaves comerciais: da preparação à transferência**. 2022. online. Disponível em: <https://www.mrobrasil.com.br/videoconferencias/live-redelivery-de-aeronaves-comerciais-da-preparacao-a-transferencia/>. Acesso em: 05 jun. 2023.

MOLNAR, I. Simulation and optimization. **Society and Economy**, v. 27, n. 2, p. 213-226, 2005.

- NEUENDORF, K. A. **The content analysis guidebook**. Cleveland: Sage Publ. 2002, 301 p.
- PINTO, D. G. F.; ABRAHAO, F. T. M. Custo do ciclo de vida: proposta de método de cálculo prospectivo e análise de sensibilidade a fatores de confiabilidade e manutenibilidade. *In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA (SIGE)*. 2018. São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: ITA, 25-27 set. 2018, p. 55-60.
- PRATIWI, A. A.; WESSIANI, N.; DZAKIYAH, H.; NURHALIZAH, U. Aircraft redelivery project risk assessment: a case study in maintenance, repair and overhaul (MRO) company. *In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT*. 2021. São Paulo. **Anais [...]**. Sao Paulo, Brazil, April 5 - 8, 2021.
- RAMÍREZ, A. G.; ANGUIANO, F. I. S. Simulation based optimization of drilling equipment logistics: a case of study. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 866-875, 2023.
- REBOUÇAS, S.; ABRAHÃO, F. T. M. Planejamento estratégico de programa de manutenção preventiva de aeronaves. *In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA (SIGE)*. 2019. São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: ITA, 2019.
- ROCHA, W. **Contribuição ao estudo de um modelo conceitual de sistema de gestão estratégica**. 1999. 226 f. Tese (Doutor em Controladoria e Contabilidade) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- SHERBROOKE, C. C. **Optimal inventory modeling of systems: multi-echelon techniques**, New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- SHUKLA, S. K.; KUMAR, S.; SELVARAJ, P.; RAO, V. S. Integrated logistics system for indigenous fighter aircraft development program. **Procedia Engineering**, v. 97, p. 2238-2247, 2014.
- UNITED STATES OF AMERICA. Department of Defense. **DoD guide for achieving reliability, availability, and maintainability**. Washington: DOD, August 2005.
- WEBER, R. P. **Basic content analysis**. London: Sage Publ. 1990.
- WESTERVLIER, G. V. H. Aircraft leasing, a challenge since the 70s. **Transportation Research Procedia**, v. 56, p. 110-117, 2021.
- WOODWARD, D. G. Life cycle costing - theory, information acquisition, and application. *International Journal of Project Management*, v. 15, n. 6, p. 335-344, 1997. doi:10.1016/s0263-7863(96)00089-0
- WUTTKE, R. A.; SELLITTO, M. A. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 4, 2008.

YUNCHUN, C.; YUZHAN, L.; DANYANG, S. Methods for forecasting demand in repairing an airline's repairable line replaceable unit parts. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 33, n. 4, p. 60-80, 2022.

## Apêndice A

<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 1	1	8,00	LRU	6	1.828,73	1.828,73
ITEM 2	1	11,55	LRU	6	12.829,68	12.829,68
ITEM 3	1	11,55	LRU	6	13.179,24	13.179,24
ITEM 4	1	11,55	LRU	8	86.100,55	86.100,55
ITEM 5	1	1,74	LRU	6	15.900,29	15.900,29
ITEM 6	1	10,53	LRU	6	12.150,52	12.150,52
ITEM 7	1	2,83	LRU	8	50.258,29	50.258,29
ITEM 8	4	2,89	LRU	6	5.863,03	5.863,03
ITEM 9	1	11,55	LRU	6	17.155,52	17.155,52
ITEM 10	1	46,21	LRU	6	21.112,34	42.224,68
ITEM 11	1	127,07	LRU	8	57.052,81	399.369,67
ITEM 12	1	34,66	LRU	6	10.386,26	31.158,78
ITEM 13	2	5,78	LRU	6	10.412,17	10.412,17
ITEM 14	2	1,60	LRU	6	5.365,41	5.365,41
ITEM 15	2	71,81	LRU	6	1.298,76	24.676,44
ITEM 16	1	3,01	LRU	8	61.425,08	61.425,08
ITEM 17	1	6,02	LRU	8	50.777,59	50.777,59
ITEM 18	1	57,76	LRU	6	32.433,09	129.732,36
ITEM 19	1	34,66	LRU	6	2.751,70	8.255,10
ITEM 20	1	215,43	LRU	6	8.357,60	142.079,20
ITEM 21	1	92,42	LRU	8	151.268,34	756.341,70
ITEM 22	1	115,52	LRU	8	74.835,05	523.845,35
ITEM 23	1	5,33	LRU	4	2.804,38	2.804,38
ITEM 24	1	5,33	LRU	4	2.267,79	2.267,79
ITEM 25	1	5,33	LRU	4	2.492,15	4.984,30
ITEM 26	1	150,18	LRU	6	11.806,18	70.837,08
ITEM 27	1	92,42	LRU	6	35.095,83	140.383,32
ITEM 28	1	16,00	LRU	8	114.491,53	228.983,06
ITEM 29	1	1,03	LRU	6	5.399,75	5.399,75
ITEM 30	1	5,33	LRU	6	3.290,48	3.290,48
ITEM 31	1	5,33	LRU	6	5.623,91	5.623,91
ITEM 32	0	5,33	LRU	6	3.153,33	3.153,33
ITEM 33	1	5,33	LRU	6	9.866,93	9.866,93
ITEM 34	1	46,21	LRU	6	18.662,86	37.325,72

<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 35	1	11,55	LRU	6	6.507,61	6.507,61
ITEM 36	1	4,51	LRU	6	3.297,62	3.297,62
ITEM 37	2	1,60	LRU	2	4.868,81	4.868,81
ITEM 38	2	1,60	LRU	2	4.868,81	4.868,81
ITEM 39	2	0,75	LRU	6	4.015,12	4.015,12
ITEM 40	1	3,01	LRU	6	24.086,65	24.086,65
ITEM 41	2	6,77	LRU	6	3.547,63	3.547,63
ITEM 42	2	17,33	LRU	6	9.327,56	18.655,12
ITEM 43	1	5,33	LRU	6	9.006,54	9.006,54
ITEM 44	1	3,76	LRU	8	63.881,41	63.881,41
ITEM 45	1	23,10	LRU	6	46.456,87	92.913,74
ITEM 46	1	0,44	LRU	6	28.672,85	28.672,85
ITEM 47	1	0,75	LRU	6	5.579,41	5.579,41
ITEM 48	1	1,60	LRU	6	3.623,35	3.623,35
ITEM 49	1	3,20	LRU	6	2.994,37	2.994,37
ITEM 50	1	3,20	LRU	6	9.341,14	9.341,14
ITEM 51	0	3,20	LRU	6	9.706,42	9.706,42
ITEM 52	0	5,33	LRU	6	2.887,26	2.887,26
ITEM 53	0	5,33	LRU	6	3.528,48	3.528,48
ITEM 54	0	1,60	LRU	6	6.195,77	6.195,77
ITEM 55	1	1,60	LRU	6	4.340,46	4.340,46
ITEM 56	2	52,23	LRU	6	7.665,42	38.327,10
ITEM 57	1	103,97	LRU	6	15.267,27	91.603,62
ITEM 58	1	57,76	LRU	6	20.058,79	80.235,16
ITEM 59	1	219,49	LRU	6	18.047,39	216.568,68
ITEM 60	4	68,55	LRU	6	1.190,61	39.290,13
ITEM 61	2	8,00	LRU	4	1.212,43	4.849,72
ITEM 62	2	5,18	LRU	4	1.224,81	3.674,43
ITEM 63	2	5,33	LRU	4	1.247,87	3.743,61
ITEM 64	2	8,28	LRU	4	721,56	2.886,24
ITEM 65	3	1,66	LRU	6	8.206,73	8.206,73
ITEM 66	1	3,20	LRU	6	10.022,67	10.022,67
ITEM 67	1	32,00	LRU	6	20.092,05	60.276,15
ITEM 68	1	4,51	LRU	6	5.253,96	5.253,96
ITEM 69	1	32,00	LRU	6	4.499,82	13.499,46
ITEM 70	1	32,00	LRU	6	4.499,82	13.499,46
ITEM 71	1	1,27	LRU	6	8.303,52	8.303,52



<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 72	3	32,00	LRU	6	3.056,72	15.283,60
ITEM 73	0	0,75	LRU	6	9.893,03	9.893,03
ITEM 74	0	11,55	LRU	6	6.698,14	6.698,14
ITEM 75	1	5,33	LRU	10	552.750,77	552.750,77
ITEM 76	1	5,33	LRU	10	455.922,11	455.922,11
ITEM 77	1	3,20	LRU	6	4.798,71	4.798,71
ITEM 78	0	3,20	LRU	6	4.002,68	4.002,68
ITEM 79	5	207,53	LRU	6	21.101,16	801.844,08
ITEM 80	5	2,59	LRU	6	29.317,10	29.317,10
ITEM 81	1	6,02	LRU	6	21.332,23	21.332,23
ITEM 82	1	24,83	LRU	8	68.824,56	137.649,12
ITEM 83	1	11,55	LRU	6	8.656,88	8.656,88
ITEM 84	1	6,02	LRU	6	24.207,09	24.207,09
ITEM 85	1	11,55	LRU	6	49.036,86	49.036,86
ITEM 86	1	16,00	LRU	6	3.847,74	7.695,48
ITEM 87	1	16,00	LRU	6	4.294,19	8.588,38
ITEM 88	1	16,00	LRU	6	33.061,19	66.122,38
ITEM 89	1	11,55	LRU	6	7.520,15	7.520,15
ITEM 90	1	23,10	LRU	6	4.033,86	8.067,72
ITEM 91	1	196,39	LRU	8	74.435,78	818.793,58
ITEM 92	1	11,55	LRU	6	11.630,73	11.630,73
ITEM 93	1	97,92	LRU	6	19.373,50	174.361,50
ITEM 94	2	5,33	LRU	4	1.167,46	3.502,38
ITEM 95	1	1,60	LRU	2	1.697,97	1.697,97
ITEM 96	1	1,60	LRU	2	1.139,01	1.139,01
ITEM 97	2	5,33	LRU	4	2.260,18	6.780,54
ITEM 98	1	57,76	LRU	6	31.069,57	124.278,28
ITEM 99	2	51,98	LRU	6	11.698,58	70.191,48
ITEM 100	2	5,78	LRU	6	14.138,53	14.138,53
ITEM 101	1	6,77	LRU	8	53.458,85	53.458,85
ITEM 102	1	3,76	LRU	6	3.668,56	3.668,56
ITEM 103	1	5,27	LRU	6	3.691,49	3.691,49
ITEM 104	1	3,01	LRU	6	19.652,07	19.652,07
ITEM 105	1	1,50	LRU	6	23.622,50	23.622,50
ITEM 106	2	17,33	LRU	6	22.608,45	67.825,35
ITEM 107	2	3,87	LRU	6	6.122,99	6.122,99
ITEM 108	2	40,43	LRU	6	15.269,51	76.347,55

<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 109	1	4,51	LRU	8	77.437,16	77.437,16
ITEM 110	1	46,21	LRU	6	9.329,81	27.989,43
ITEM 111	1	1,50	LRU	8	57.992,30	57.992,30
ITEM 112	2	0,58	LRU	24	44.649,44	44.649,44
ITEM 113	1	0,75	LRU	24	52.057,80	52.057,80
ITEM 114	1	1,50	LRU	24	109.368,76	109.368,76
ITEM 115	1	11,55	LRU	24	108.301,86	108.301,86
ITEM 116	1	2,26	LRU	24	30.129,76	30.129,76
ITEM 117	1	11,55	LRU	24	71.892,57	71.892,57
ITEM 118	1	11,55	LRU	6	33.114,98	33.114,98
ITEM 119	1	0,58	LRU	6	33.114,98	33.114,98
ITEM 120	1	10,67	LRU	6	32.838,51	32.838,51
ITEM 121	1	16,00	LRU	6	2.759,97	5.519,94
ITEM 122	1	9,78	LRU	6	5.661,05	5.661,05
ITEM 123	2	10,53	LRU	6	11.274,91	11.274,91
ITEM 124	1	57,76	LRU	6	37.338,37	149.353,48
ITEM 125	0	11,55	LRU	6	48.326,20	48.326,20
ITEM 126	1	11,55	LRU	6	11.707,62	11.707,62
ITEM 127	4	3,26	LRU	4	1.232,13	3.696,39
ITEM 128	2	1,74	LRU	4	1.471,75	1.471,75
ITEM 129	1	17,42	LRU	6	2.458,05	4.916,10
ITEM 130	1	5,66	LRU	6	3.753,09	3.753,09
ITEM 131	1	0,75	LRU	6	8.686,83	8.686,83
ITEM 132	1	11,61	LRU	6	9.792,78	9.792,78
ITEM 133	1	5,33	LRU	6	2.502,59	2.502,59
ITEM 134	1	0,75	LRU	6	4.407,10	4.407,10
ITEM 135	0	32,00	LRU	6	2.349,62	4.699,24
ITEM 136	2	17,33	LRU	6	3.842,90	11.528,70
ITEM 137	1	5,33	LRU	4	1.011,25	2.022,50
ITEM 138	1	11,55	LRU	4	773,19	2.319,57
ITEM 139	1	3,20	LRU	4	2.770,60	2.770,60
ITEM 140	1	115,52	LRU	6	15.102,00	90.612,00
ITEM 141	1	0,75	LRU	6	12.934,06	12.934,06
ITEM 142	1	176,26	LRU	6	48.825,82	732.387,30
ITEM 143	1	26,11	LRU	6	4.696,78	14.090,34
ITEM 144	1	65,28	LRU	6	13.810,73	82.864,38
ITEM 145	1	127,07	LRU	6	30.139,64	150.698,20

<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 146	1	10,67	LRU	6	3.116,23	3.116,23
ITEM 147	1	46,21	LRU	8	57.476,37	114.952,74
ITEM 148	1	57,76	LRU	6	16.361,44	32.722,88
ITEM 149	1	57,76	LRU	6	12.880,49	38.641,47
ITEM 150	1	92,42	LRU	6	31.397,01	125.588,04
ITEM 151	1	231,04	LRU	6	16.244,33	129.954,64
ITEM 152	2	7,40	LRU	4	2.728,49	8.185,47
ITEM 153	1	207,94	LRU	6	33.510,16	368.611,76
ITEM 154	1	46,21	LRU	8	50.889,68	152.669,04
ITEM 155	1	11,55	LRU	6	6.539,87	6.539,87
ITEM 156	1	0,44	LRU	6	6.009,48	6.009,48
ITEM 157	1	1,60	LRU	6	4.260,42	4.260,42
ITEM 158	1	16,00	LRU	6	4.727,54	9.455,08
ITEM 159	1	3,20	LRU	4	2.122,83	2.122,83
ITEM 160	1	3,20	LRU	6	6.534,68	6.534,68
ITEM 161	1	3,20	LRU	6	6.534,68	6.534,68
ITEM 162	1	11,55	LRU	8	80.892,16	80.892,16
ITEM 163	1	3,20	LRU	6	13.652,20	13.652,20
ITEM 164	5	3,20	LRU	6	4.332,64	4.332,64
ITEM 165	1	46,21	LRU	6	4.153,75	12.461,25
ITEM 166	1	1,50	LRU	8	126.087,42	126.087,42
ITEM 167	1	127,07	LRU	6	1.681,10	11.767,70
ITEM 168	1	22,86	LRU	6	17.475,33	34.950,66
ITEM 169	1	46,21	LRU	8	186.088,84	558.266,52
ITEM 170	1	11,55	LRU	8	58.545,46	58.545,46
ITEM 171	1	23,10	LRU	6	19.994,73	39.989,46
ITEM 172	1	16,00	LRU	6	7.269,59	14.539,18
ITEM 173	13	32,00	LRU	6	5.237,01	104.740,20
ITEM 174	1	32,00	LRU	6	7.703,89	23.111,67
ITEM 175	1	46,21	LRU	6	2.496,00	7.488,00
ITEM 176	1	23,10	LRU	6	9.393,60	18.787,20
ITEM 177	1	22,86	LRU	6	10.380,16	10.380,16
ITEM 178	1	5,33	LRU	4	2.614,97	2.614,97
ITEM 179	1	20,32	LRU	8	84.151,26	168.302,52
ITEM 180	1	10,67	LRU	6	19.500,33	19.500,33
ITEM 181	1	5,33	LRU	6	28.910,96	28.910,96
ITEM 182	0	12,64	LRU	8	68.457,80	68.457,80

<b>Componente</b>	<b>Quantidade por aeronave</b>	<b>Taxa de Falha (1/MiOPH)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vida Técnica (anos)</b>	<b>Preço CRN</b>	<b>Preço CRE</b>
ITEM 183	0	1,03	LRU	6	2.933,21	2.933,21
ITEM 184	1	11,55	LRU	8	78.444,58	78.444,58
ITEM 185	1	3,92	LRU	6	35.378,92	35.378,92
ITEM 186	1	5,33	LRU	6	10.266,58	10.266,58
ITEM 187	1	3,20	LRU	6	19.396,17	19.396,17
ITEM 188	2	0,75	LRU	6	6.440,75	6.440,75
ITEM 189	1	4,51	LRU	6	40.639,98	40.639,98
ITEM 190	2	16,00	LRU	6	3.940,28	7.880,56
ITEM 191	3	5,33	LRU	4	1.755,32	7.021,28
ITEM 192	5	13,86	LRU	6	41.162,36	205.811,80
ITEM 193	1	5,33	LRU	6	2.481,00	2.481,00
ITEM 194	1	16,00	LRU	6	10.839,46	21.678,92
ITEM 195	1	16,00	LRU	6	12.184,15	24.368,30
ITEM 196	1	16,00	LRU	6	10.805,20	21.610,40
ITEM 197	1	16,00	LRU	6	4.530,47	9.060,94
ITEM 198	1	69,31	LRU	6	21.817,35	65.452,05
ITEM 199	1	124,04	LRU	6	5.450,77	59.958,47
ITEM 200	1	22,86	LRU	6	5.459,67	16.379,01
ITEM 201	0	0,58	LRU	2	36.798,20	36.798,20
ITEM 202	1	6,53	LRU	4	34.818,21	34.818,21
ITEM 203	1	11,55	LRU	6	17.613,46	17.613,46

## Apêndice B

<b>Base</b>	<b>Perfil</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
OP1	DIA OPERACAO OP1	VOOS HUB	2
OP1	DIA OPERACAO OP1	VOOS NORMAIS R1	2
OP1	SEMANA OPERACAO OP1	DIA OPERACAO OP1	5
OP1	MES OPERACAO OP1	SEMANA OPERACAO OP1	4
OP2	DIA OPERACAO OP2	VOOS HUB	2
OP2	DIA OPERACAO OP2	VOOS NORMAIS R2	2
OP2	SEMANA OPERACAO OP2	DIA OPERACAO OP2	5
OP2	MES OPERACAO OP2	SEMANA OPERACAO OP2	4
OP3	DIA OPERACAO OP3	VOOS HUB	4
OP3	DIA OPERACAO OP3	VOOS NORMAIS R2	2
OP3	SEMANA OPERACAO OP3	DIA OPERACAO OP3	5
OP3	MES OPERACAO OP3	SEMANA OPERACAO OP3	4
OP4	DIA OPERACAO OP4	VOOS HUB	1
OP4	DIA OPERACAO OP4	VOOS NORMAIS R1	2
OP4	DIA OPERACAO OP4	VOOS NORMAIS R2	2
OP4	SEMANA OPERACAO OP4	DIA OPERACAO OP4	5
OP4	MES OPERACAO OP4	SEMANA OPERACAO OP4	4
OP1	ANO OP1	MES OPERACAO OP1	12
OP2	ANO OP2	MES OPERACAO OP2	12
OP3	ANO OP3	MES OPERACAO OP3	12
OP4	ANO OP4	MES OPERACAO OP4	12
OP1	DECADA OP1	ANO OP1	10
OP2	DECADA OP2	ANO OP2	10
OP3	DECADA OP3	ANO OP3	10
OP4	DECADA OP4	ANO OP4	10

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">21 de agosto de 2023</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-077/2023</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">109</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO:  Análise da relação custo-benefício do gerenciamento do suporte de uma frota de aeronaves comerciais à luz do processo de reentrega.			
6. AUTOR(ES):  <b>Luciana Guaracy de Oliveira</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):  Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:  Arrendamento de aeronaves; Fase de reentrega; Suporte integrado do produto			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:  Processamento de dados; Arrendamento; Locação; Aeronaves; Contratos; Administração de empresas; Administração;			
10. APRESENTAÇÃO: <span style="float: right;"><b>( X ) Nacional    ( ) Internacional</b></span>  ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Engenharia Logística. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão. Defesa em 11/07/2023. Publicada em 2023.			
11. 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, especialmente quando a frota faz parte de um contrato de arrendamento (do inglês leasing contract). Um dos problemas enfrentado pela gerência das frotas são as dificuldades e complexidades no entendimento da relação custo-benefício de suporte dentro de um contrato de arrendamento típico da aviação comercial. Em muitos casos, o processo de reentrega (do inglês redelivery) apresenta custos e dificuldades além do esperado a ponto de comprometer a relação custo-benefício do arrendamento como um todo. Uma dúvida encontrada é se a forma de condução do gerenciamento da frota do ponto de vista da sua suportabilidade e ritmo de operações pode implicar uma degradação significativa na saúde dos ativos (aeronaves arrendadas) a ponto de comprometer o processo de reentrega e seus custos relacionados. O objetivo deste trabalho é modelar a operação do ponto de vista do Suporte Integrado do Produto (do inglês Integrated Product Support - IPS) de uma frota de aeronaves arrendadas e, a partir dessa modelagem, avaliar o impacto na relação custo-benefício do contrato. É esperado que diferentes estratégias de gerenciamento das operações e de gerenciamento do suporte possam entregar diferentes impactos na relação custo-benefício do contrato. Os resultados podem comprometer a capacidade da operadora de reentregar essas aeronaves de acordo com os protocolos estabelecidos pelo contrato de arrendamento. Os resultados encontrados trazem que operar uma frota com um ritmo de utilização exagerado, pode levar a um custo menor durante os anos de operação, no entanto, pode levar a um descaixe maior na fase de reentrega além de penalidades devido ao atraso na devolução das aeronaves. A modelagem considerou os parâmetros de suportabilidade com cinco diferentes estratégias de gerenciamento da frota e os resultados apontam que a utilização “padrão coerente” apresenta vantagens tanto para a relação custo-benefício das aeronaves durante o período de arrendamento assim como para o processo de reentrega.			
12. GRAU DE SIGILO:  <p style="text-align: center;"><b>( X ) OSTENSIVO            ( ) RESERVADO            ( ) SECRETO</b></p>			