

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 Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos.

Amilton Carlos da Conceição Filho

UM MODELO DE INDICADOR PARA GESTÃO DOS ATRASOS ADMINISTRATIVOS E LOGÍSTICOS

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:

Prof. Dr. Johnny Cardoso Marques

Orientador

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP - Brasil
2025

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

Filho, Amilton Carlos da Conceição
UM MODELO DE INDICADOR PARA GESTÃO DOS ATRASOS ADMINISTRATIVOS E LOGÍSTICOS / Amilton Carlos da Conceição Filho.
São José dos Campos, 2025.
126f.

Dissertação de Mestrado – Curso de Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025. Orientador: Prof. Dr. Johnny Cardoso Marques.

1. Disponibilidade Operacional. 2. Atrasos Logísticos. 3. Atrasos Administrativos. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, Amilton Carlos da Conceição . **UM MODELO DE INDICADOR PARA GESTÃO DOS ATRASOS ADMINISTRATIVOS E LOGÍSTICOS**. 2025. 126f.
Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Amilton Carlos da Conceição Filho
TÍTULO DO TRABALHO: UM MODELO DE INDICADOR PARA GESTÃO DOS ATRASOS ADMINISTRATIVOS E LOGÍSTICOS.
TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2025

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 pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Amilton Carlos da Conceição Filho
Avenida Jorge Zarur 585 apt 1103-Vila Ema
12.243-081 – São José dos Campos–SP

UM MODELO DE INDICADOR PARA GESTÃO DOS ATRASOS ADMINISTRATIVOS E LOGÍSTICOS

Amilton Carlos da Conceição Filho

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Carlos Henrique Netto Lahoz	Presidente	-	ITA
Prof. Dr.	Johnny Cardoso Marques	Orientador	-	ITA
Prof. Dr.	Christopher Shneider Cerqueira	Membro Interno	-	ITA
Prof. Dra.	Jéssyka Flavyanne Ferreira Vilela	Membro Externo	-	UFPE

Dedico este trabalho à minha família, cujo apoio incondicional tem sido a base em todas as etapas da minha trajetória, e que, com amor e encorajamento, inspira meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

Agradecimentos

A Deus, que sabiamente me guiou pelos caminhos desafiadores desta jornada, concedendo-me serenidade, força, paciência e perseverança.

Aos meus queridos pais, Alda e Amilton, pelo exemplo de vida, pelo amor incondicional e pelo apoio constante em todas as fases da minha vida.

À minha amada esposa, Jéssica, por seu amor, compreensão e por estar sempre ao meu lado, compartilhando cada conquista e superando comigo cada desafio.

Aos meus irmãos, Alessandra, André e Adalto, pela amizade, companheirismo e incentivo ao longo dessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Johnny, pela paciência, orientação valiosa e pelo exemplo de profissionalismo e dedicação.

À Marinha do Brasil, pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional, e pelo apoio essencial para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, incentivo e pela presença que tornou esta jornada menos árdua e mais significativa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade, meu sincero e eterno agradecimento.

O presente trabalho é o resultado de um esforço coletivo, para o qual sou grato a cada pessoa e instituição que fez parte dessa trajetória.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

— SR. ALBERT EINSTEIN

Resumo

Este trabalho propõe um novo modelo de indicador para a gestão dos atrasos administrativos e logísticos, visando melhorar a disponibilidade operacional (Ao) em sistemas complexos, como os setores naval e aeroespacial. A disponibilidade operacional, tradicionalmente calculada pela relação entre o tempo médio entre manutenções (MTBM) e o tempo médio de inatividade (MDT), não considera adequadamente os impactos dos atrasos administrativos (ADT) e logísticos (LDT). Para superar essa limitação, foi desenvolvido o Índice de Impacto de Atrasos (IIA), que quantifica o impacto desses atrasos no tempo de inatividade. O IIA foi integrado a um cálculo alternativo da disponibilidade operacional, oferecendo uma visão mais realista do desempenho dos sistemas. A validação do modelo, realizada por meio de simulações em três cenários (Ótimo, Normal e Crítico) e questionários aplicados a especialistas, demonstrou a eficácia do IIA.

A medição da disponibilidade operacional é vital em setores como defesa e aeroespacial, onde a prontidão impacta diretamente a segurança, a eficiência e os custos. O cálculo tradicional apresenta limitações, como a falta de diferenciação entre tipos de atrasos e a subestimação dos atrasos administrativos e logísticos, o que dificulta a identificação de causas específicas de ineficiências. O novo modelo, ao integrar o IIA, permite uma análise mais detalhada desses fatores, promovendo uma gestão mais proativa e orientada por dados. A aplicação prática nos setores naval e aeroespacial comprovou a relevância do modelo, destacando sua capacidade de melhorar a prontidão operacional, reduzir custos e otimizar a eficiência em ambientes complexos. Este trabalho contribui, assim, com uma ferramenta analítica para a gestão de sistemas de alta exigência.

Palavras-chave: Disponibilidade Operacional, Índice de Impacto de Atrasos, Atrasos Administrativos, Atrasos Logísticos, Manutenção.

Abstract

This study proposes a new indicator model for managing administrative and logistical delays, aiming to improve operational availability (Ao) in complex systems, such as the naval and aerospace sectors. Operational availability, traditionally calculated by the ratio between mean time between maintenance (MTBM) and mean downtime (MDT), does not adequately consider the impacts of administrative delays (ADT) and logistical delays (LDT). To overcome this limitation, the Delay Impact Index (IIA) was developed, which quantifies the impact of these delays on downtime. The IIA was integrated into an alternative calculation of operational availability, providing a more realistic view of system performance. The model's validation, conducted through simulations in three scenarios (Optimal, Normal, and Critical) and questionnaires applied to experts, demonstrated the effectiveness of the IIA.

Measuring operational availability is crucial in sectors such as defense and aerospace, where readiness directly impacts safety, efficiency, and costs. The traditional calculation has limitations, such as the lack of differentiation between types of delays and the underestimation of administrative and logistical delays, which hinders the identification of specific causes of inefficiencies. The new model, by integrating the IIA, allows for a more detailed analysis of these factors, promoting proactive and data-driven management. The practical application in the naval and aerospace sectors proved the model's relevance, highlighting its ability to improve operational readiness, reduce costs, and optimize efficiency in complex environments. This study thus contributes an analytical tool for managing high-demand systems.

Keywords: Operational Availability, Delay Impact Index, Administrative Delays, Logistical Delays, Maintenance.

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 – Visão geral dos elementos do IPS	32
FIGURA 3.1 – Distribuição dos estudos selecionados por ano de publicação.	46
FIGURA 3.2 – Concentração de contribuição nas publicações por países.	47
FIGURA 3.3 – Número de contribuições por autores.	47
FIGURA 3.4 – Número de instituições com mais contribuição por publicações	48
FIGURA 3.5 – Distribuição dos documentos por questões de pesquisa	49
FIGURA 5.1 – Impacto no Tempo e Custo do Setor Naval	75
FIGURA 5.2 – Áreas Críticas do Setor Naval	77
FIGURA 5.3 – Impacto no Tempo e Custo do Setor Aeroespacial	82
FIGURA 5.4 – Áreas Críticas do Aeroespacial	83
FIGURA 5.5 – IIAxAo Setor Naval	92
FIGURA 5.6 – IIAxAo Setor Aeroespacial	93
FIGURA C.1 – Avaliação do Impacto dos Atrasos na Manutenção	125
FIGURA C.2 – Sugestões de Melhoria para Redução de Atrasos Logísticos e Administrativos	126

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 – Número de publicações por base de busca	45
TABELA 3.2 – Contribuição dos países nos estudos selecionados	46
TABELA 3.3 – Estudos primários sobre disponibilidade operacional mais citados.	48
TABELA 3.4 – Mapeamento dos Trabalhos por Questão de Mapeamento	51
TABELA 5.1 – Resultado dos itens avaliados do Setor Naval	71
TABELA 5.2 – Resultado dos itens avaliados do Setor Aeroespacial	78
TABELA 5.3 – Impacto em Horas no Setor Naval	90
TABELA 5.4 – Impacto em Horas no Setor Aeroespacial	91

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADT	Tempo de Atraso Administrativo
Ao	Disponibilidade Operacional
AMT	Tempo de Manutenção Ativa
IIA	Índice de Impacto de Atrasos
IPS	Suporte Integrado do Produto
KPI	Indicador Chave de Desempenho
LDT	Tempo de Atraso Logístico
MTBM	Tempo Médio entre Manutenções
MDT	Tempo Médio de Inatividade
RAMS	Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança
RAM	Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade
SMART	Critérios Específicos, Mensuráveis, Alcançáveis, Relevantes e Temporais
PBL	Logística Baseada em Desempenho
LCC	Custo do Ciclo de Vida
TBM	Manutenção Baseada no Tempo

CBM	Manutenção Baseada nas Condições
PBC	Contrato Baseado em Desempenho
MBC	Manutenção Baseada em Medição
RDR	Redução Relativa do Tempo de Inatividade
RAG	Ganho Relativo de Disponibilidade
CMMS	Sistema Computadorizado de Gestão de Manutenção
FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falhas
PMO	Escritório de Gerenciamento de Projetos
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparo
SDT	Atraso no tempo de fornecimento
TeMC	Contrato baseado em tempo e material
VHMS	Sistema de Monitoramento de Saúde de Veículos
VUR	Vida útil Restante
METRIC	Multi-Escalão para Controle de Itens Recuperáveis

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	19
1.2	Problema de Pesquisa	19
1.3	Objetivo	20
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
1.4	Organização do trabalho	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Análise RAM	23
2.1.1	Confiabilidade	23
2.1.2	Disponibilidade	25
2.1.3	Manutenibilidade	27
2.1.4	Análise RAMS	29
2.2	Disponibilidade Operacional e Suportabilidade	30
2.2.1	Gestão do Ciclo de Vida de Suportabilidade	30
2.2.2	Gestão Técnica	31
2.2.3	Gestão de Infraestrutura	31
2.3	Indicadores de Desempenho	33
2.3.1	Indicadores de Desempenho na Gestão da Manutenção	33
2.3.2	Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico	34
2.3.3	Norma EN 15341 - Indicadores-chave de Desempenho de Manutenção	35
2.4	Revisão da Literatura	36

3	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA	40
3.1	Mapeamento Sistemático	40
3.2	Protocolo	41
3.2.1	Questões de Mapeamento	41
3.2.2	Equipe de Pesquisadores	41
3.2.3	Seleção de Estudos	42
3.2.4	Fontes de Busca	42
3.2.5	<i>String</i> de Busca	43
3.2.6	Processo de extração de dados	44
3.2.7	Estratégia de Síntese e Análise de Dados	44
3.3	Resultados e Discussão Sobre o Mapeamento Sistemático da Literatura	45
3.3.1	Resultados Obtidos	45
3.3.2	Discussão	50
3.3.3	Considerações	58
4	MÉTODO	61
4.1	Índice de Impacto de Atrasos	61
4.1.1	Definição dos Componentes Principais	62
4.1.2	Estabelecimento dos Critérios SMART	62
4.1.3	Desenvolvimento da Fórmula do IIA	63
4.1.4	Enquadramento do IIA nas Categorias de KPI	64
4.1.5	Coleta e Validação dos Dados	65
4.1.6	Justificativa da Escolha do Questionário	65
4.1.7	Desenvolvimento do Questionário	66
4.1.8	Estratégia de Coleta de Dados	66
4.1.9	Tratamento e Análise dos Dados	67
4.1.10	Ética na Pesquisa	67
4.2	Novo Modelo de Indicador - Cálculo Alternativo da Disponibilidade Ope- racional com Integração do IIA	67
4.2.1	Incorporação do IIA no Cálculo de Ao	67

4.2.2	Justificativa e Aplicação do Cálculo Alternativo para Disponibilidade Operacional	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1	Análise dos Impactos no Processo de Manutenção	70
5.1.1	Setor Naval	70
5.1.2	Setor Aeroespacial	77
5.1.3	Comparações entre o Setor Naval e o Setor Aeroespacial com Base no Índice de Impacto de Atraso (IIA)	84
5.2	Sugestão de Melhorias no Processo de Manutenção	85
5.2.1	Planejamento e Prevenção	86
5.2.2	Gestão de Recursos	86
5.2.3	Mapeamento de Processos	86
5.2.4	Desenvolvimento de Competências	87
5.2.5	Padronização de Equipamentos	87
5.2.6	Inovação e Melhoria Contínua	87
5.2.7	Colaboração e Compartilhamento de Conhecimento	88
5.3	Simulação	88
5.3.1	Método	88
5.3.2	Descrição dos Cenários	89
5.3.3	Parâmetros Utilizados na Simulação	89
5.3.4	Avaliação dos Cenários Simulados	90
5.3.5	Interpretação dos Resultados	93
5.3.6	Comparação entre os Cenários	94
5.3.7	Considerações sobre a validade dos resultados	95
6	CONCLUSÃO	97
6.1	Propósito do Trabalho	97
6.2	Avaliação do Cumprimento dos Objetivos da Pesquisa	97
6.3	Abordagem e Método	98
6.4	Descobertas e Implicações	99

6.5	Contribuições	99
6.6	Limitações	100
6.7	Recomendações para Trabalhos Futuros	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – ESTUDOS SELECIONADOS	107
	APÊNDICE B – SÍNTESE DOS ESTUDOS SELECIONADOS	109
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO - MODELO DE INDICADORES DE DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS: UMA ANÁLISE DOS ATRASOS LOGÍSTICOS E ADMINISTRATIVOS	125

1 Introdução

A disponibilidade operacional é um dos principais indicadores de desempenho para sistemas críticos em setores como defesa, transporte e logística. Em ambientes altamente regulados e complexos, como os setores naval e aeroespacial, a capacidade de manter ativos operacionais disponíveis impacta diretamente a eficiência, a segurança e os custos operacionais. No entanto, a gestão eficaz da disponibilidade depende de diversos fatores, incluindo confiabilidade do equipamento, eficiência na manutenção e tempos de resposta logísticos. Neste contexto, a análise dos fatores que reduzem a disponibilidade se torna essencial para aprimorar a tomada de decisão e a alocação de recursos.

A Engenharia de Sistemas tem uma rica literatura dedicada a métodos, análise e definição de requisitos, design baseado em modelos, integração, teste e implantação. Contudo, a aplicação desses conceitos nas fases de operação e manutenção, momentos em que os sistemas devem atender plenamente às expectativas dos usuários finais e clientes, ainda é limitada (FILIPPI *et al.*, 2015). Essa lacuna torna-se especialmente crítica em sistemas de defesa, onde a alta disponibilidade operacional é essencial para o sucesso das missões.

Os modelos tradicionais de disponibilidade operacional focam principalmente na confiabilidade e na manutenibilidade dos sistemas. No entanto, esses modelos não consideram explicitamente os atrasos administrativos e logísticos, que podem representar uma parcela significativa do tempo de inatividade. Essa lacuna metodológica pode levar a análises superestimadas da disponibilidade operacional, resultando em decisões gerenciais imprecisas.

Embora a disponibilidade operacional seja um indicador amplamente utilizado na gestão de sistemas complexos, a literatura existente carece de métricas que permitam segmentar e quantificar os impactos dos atrasos administrativos e logísticos. Os indicadores tradicionais tratam a disponibilidade de forma agregada, sem diferenciar as causas da indisponibilidade. Como resultado, gestores enfrentam dificuldades para identificar e mitigar os atrasos que reduzem a eficiência operacional.

A crescente complexidade dos sistemas de defesa modernos exige uma abordagem integrada que abranja não apenas os aspectos técnicos, mas também os organizacionais e logísticos. A manutenção desses sistemas envolve o gerenciamento de diversos fatores que

influenciam diretamente a disponibilidade operacional, frequentemente expressa como Ao (*Operational Availability*). Este indicador é fundamental para avaliar o estado de prontidão de um sistema, sendo calculado pela relação entre o tempo médio entre manutenções (MTBM) e o tempo médio de inatividade (MDT), conforme descrito na Equação 1.1 (BLANCHARD *et al.*, 1990).

$$Ao = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (1.1)$$

O MDT, por sua vez, pode ser decomposto em três componentes principais: Tempo de Manutenção Ativa (AMT), Tempo de Atraso Logístico (LDT) e Tempo de Atraso Administrativo (ADT) (DONKELAAR, 2017). Conforme ilustrado na Equação 1.2. Dessa forma, tanto os atrasos logísticos quanto os administrativos se revelam como fatores críticos que afetam a disponibilidade operacional, aumentando o MDT e, conseqüentemente, reduzindo o tempo em que o sistema está apto a operar.

$$Ao = \frac{MTBM}{MTBM + AMT + ADT + LDT} \quad (1.2)$$

A relação entre os atrasos logísticos e administrativos e a disponibilidade operacional é evidente: à medida que esses atrasos aumentam, o MDT também se eleva, resultando em uma redução da disponibilidade operacional do sistema. Portanto, a redução do LDT e do ADT emerge como uma prioridade estratégica, fundamental para assegurar que os sistemas estejam consistentemente preparados para atender às exigências operacionais.

Além disso, o impacto dos atrasos logísticos e administrativos não se restringe apenas ao aumento do tempo de inatividade; ele também se traduz em custos adicionais e na perda de eficácia operacional. À medida que os sistemas permanecem inoperantes por períodos mais longos, a capacidade de resposta a demandas críticas diminui, comprometendo a eficácia das operações. Portanto, a otimização desses processos não apenas melhora a disponibilidade operacional, mas também contribui para a redução dos custos e para a maximização do desempenho ao longo do ciclo de vida do sistema.

Com a crescente pressão por eficiência nos orçamentos de defesa e a necessidade de enfrentar ameaças cada vez mais complexas, a demanda por sistemas com alta disponibilidade operacional continua a crescer. Para atender a essa necessidade, é fundamental adotar uma abordagem que não apenas melhore a confiabilidade do sistema, mas que também reduza de forma eficaz os tempos de inatividade causados por atrasos logísticos e administrativos

Durante a fase de serviço ou operação, o monitoramento contínuo da disponibilidade operacional e de outros indicadores-chave de desempenho: KPI (*Key Performance Indicator*) é essencial para ajustar e aprimorar as estratégias de manutenção, como no caso dos

navios de guerra (DELL'ISOLA; VENDITTELLI, 2015). Estudos, como o de Hollick (2009), mostram que a eficiência dos sistemas de defesa depende tanto do design técnico quanto da eficácia dos serviços de suporte logístico. Nesse sentido, os atrasos administrativos e logísticos, embora distintos, devem ser geridos de maneira integrada para minimizar seus impactos na disponibilidade operacional.

Basicamente, a gestão eficaz dos atrasos logísticos e administrativos é fundamental para maximizar a disponibilidade operacional em sistemas complexos. A coordenação entre equipes, a comunicação clara e o uso de tecnologias avançadas são estratégias essenciais para minimizar esses atrasos, garantindo que os sistemas estejam prontos para operar no momento necessário. Ao focar nesses aspectos, é possível melhorar significativamente a prontidão e a eficácia dos sistemas de defesa, assegurando que as missões sejam cumpridas com sucesso.

1.1 Motivação

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho advém da necessidade crescente de aprimorar a gestão de manutenção de sistemas complexos, que demandam alta disponibilidade operacional e apresentam custos elevados de manutenção. A eficiência na manutenção desses sistemas é vital para assegurar sua prontidão e capacidade de resposta, especialmente em contextos onde a confiabilidade e a continuidade das operações são fatores determinantes.

Sistemas complexos, operam em ambientes de alta exigência, nos quais falhas ou indisponibilidades podem acarretar consequências severas, tanto do ponto de vista financeiro quanto operacional. A presente pesquisa é impulsionada pela necessidade de desenvolver uma ferramenta que forneça uma análise mais abrangente e detalhada dos fatores que influenciam a disponibilidade desses sistemas, permitindo uma gestão de manutenção mais proativa e eficaz. A motivação central reside na criação de um indicador que vá além das práticas convencionais, oferecendo ideias que possibilitem intervenções mais precisas e oportunas.

1.2 Problema de Pesquisa

Este estudo explora a disponibilidade operacional de sistemas complexos e os desafios relacionados à sua manutenção. O principal problema investigado é a definição de um método que permita integrar, de forma eficaz, os atrasos administrativos e logísticos no cálculo da disponibilidade operacional. A solução proposta envolve a criação de um novo indicador, concebido para fornecer uma análise mais precisa e detalhada dos fatores que

impactam a disponibilidade, possibilitando uma gestão de manutenção mais eficiente.

A necessidade de uma abordagem alternativa surge da inconsistência e da falta de padronização na coleta e análise de dados referentes aos tempos de ADT e LDT. Muitas organizações enfrentam dificuldades significativas na sistematização desses dados, o que impede uma análise robusta e a implementação de melhorias eficazes. Ademais, as práticas de manutenção frequentemente adotadas são de natureza reativa, centradas em respostas imediatas a urgências, sem o apoio de uma base sólida de dados históricos ou de análises preditivas.

Essa situação compromete a capacidade das organizações de antecipar problemas e otimizar os processos de manutenção, reforçando a necessidade de um indicador que integre esses aspectos de maneira mais eficaz. O desenvolvimento desse novo indicador busca não apenas mitigar os desafios existentes, mas também promover uma mudança de paradigma na gestão da disponibilidade operacional, tornando-a mais proativa e orientada por dados. Diante desse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: Como os atrasos administrativos e logísticos impactam a disponibilidade operacional e como um novo indicador pode contribuir para uma análise mais precisa desses impactos?

1.3 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um novo modelo de indicador. A disponibilidade operacional, sendo um KPI, é essencial para a avaliação da eficácia das operações de manutenção em sistemas complexos, tais como os empregados nos setores de defesa, saúde, manufatura e transporte. Este estudo visa fornecer uma compreensão mais aprofundada de como os atrasos administrativos e logísticos afetam a disponibilidade de equipamentos e sistemas, propondo, assim, um novo indicador de impacto de atraso que, ao ser incorporado à fórmula de disponibilidade operacional, permite uma análise ainda mais detalhada desses impactos.

Embora os atrasos administrativos e logísticos já sejam tradicionalmente considerados no cálculo da disponibilidade operacional, a pesquisa identificou que os modelos existentes muitas vezes não capturam a complexidade e a variabilidade desses fatores de maneira satisfatória. Nesse contexto, o novo indicador proposto foi desenvolvido para refinar a análise dos impactos desses atrasos, oferecendo um modelo mais robusto e informativo. Dessa forma, as organizações podem melhorar a gestão de manutenção e otimizar a disponibilidade dos sistemas de forma mais eficaz.

Os resultados da pesquisa mostram que a incorporação desse novo indicador de impacto de atraso, fornece uma visão mais abrangente do desempenho dos sistemas. Esse aprimoramento na modelagem facilita a implementação de estratégias mais eficazes para

a minimização dos tempos de inatividade, resultando em uma melhoria na eficiência operacional.

Em síntese, este trabalho apresenta um avanço na medição e gestão da disponibilidade operacional, ao propor um modelo alternativo que incorpora um novo indicador de atraso, considerando de forma integrada os impactos críticos dos atrasos administrativos e logísticos. Espera-se que este novo modelo ofereça às organizações as ferramentas analíticas necessárias para aprimorar continuamente seus processos de manutenção, contribuindo para o aumento da eficiência e produtividade operacional.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e validar um modelo de indicador voltado para a disponibilidade operacional do sistema, com ênfase nos atrasos logísticos e administrativos. A busca por maior eficiência e precisão na gestão da disponibilidade operacional em sistemas complexos é o cerne desta pesquisa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar e quantificar a influência dos atrasos administrativos e logísticos na Disponibilidade Operacional, especialmente em sistemas complexos;
- Identificar as principais causas e fatores que contribuem para os atrasos administrativos e logísticos, considerando tanto a cadeia de suprimentos como políticas e procedimentos internos; e
- Proposição e validação de um modelo de indicador de impacto de atrasos, com as métricas para suas composições e finalidades.

1.4 Organização do trabalho

O presente trabalho dispõe da seguinte estrutura:

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: Este capítulo estabelece a base teórica essencial para o entendimento dos conceitos relacionados à Disponibilidade Operacional. São abordadas definições fundamentais, como Disponibilidade Inerente, Disponibilidade Alcançada e Disponibilidade Operacional, oferecendo uma compreensão detalhada de cada um desses conceitos e suas implicações. Além disso, discute-se a Suportabilidade, que

engloba o suporte logístico e administrativo necessário para manter a prontidão dos sistemas. A revisão da literatura é conduzida com o objetivo de identificar estudos relevantes que exploram os impactos dos atrasos logísticos e administrativos na Disponibilidade Operacional, especialmente em sistemas complexos. Essa fundamentação teórica serve como alicerce para as discussões e análises subsequentes, conectando-se diretamente ao desenvolvimento do novo indicador de impacto de atrasos abordado nos capítulos seguintes.

Capítulo 3 – Mapeamento Sistemático da Literatura: Neste capítulo, é detalhado o método adotado para conduzir o mapeamento sistemático da literatura, uma etapa crítica para assegurar a relevância e a rigorosidade do estudo. O protocolo utilizado orienta a extração, análise e síntese dos dados coletados, permitindo a identificação de lacunas e tendências na pesquisa sobre disponibilidade operacional. Esse mapeamento não apenas contextualiza a pesquisa dentro do estado da arte, mas também fundamenta a necessidade de um novo modelo de indicador, justificando as inovações propostas no estudo.

Capítulo 4 – Método: Este capítulo apresenta o desenvolvimento do Índice de Impacto de Atrasos (IIA) e o cálculo alternativo da Disponibilidade Operacional. Detalha-se o processo metodológico, desde a identificação das necessidades até a aplicação prática do novo indicador. A integração do IIA ao cálculo da disponibilidade operacional visa oferecer uma visão mais precisa e detalhada dos fatores que afetam a disponibilidade dos sistemas, especialmente aqueles relacionados aos atrasos logísticos e administrativos.

Capítulo 5 – Resultados e Discussão: Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a implementação do modelo de indicador de impacto de atrasos. A análise dos impactos no processo de manutenção é complementada por simulações que validam a eficácia do novo indicador.

Capítulo 6 - Conclusão: Este capítulo final sintetiza as principais descobertas do estudo, destacando as contribuições do novo modelo de indicador para a gestão de manutenção e a otimização da Disponibilidade Operacional. As limitações da pesquisa são abordadas de maneira crítica, apontando áreas que requerem investigação adicional. Também são apresentadas recomendações para trabalhos futuros, que poderão explorar novas maneiras de integrar e aprimorar os indicadores desenvolvidos

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos fundamentais para a compreensão dos desafios relacionados à gestão da manutenção em sistemas complexos. A importância de tais conceitos se torna evidente à medida que é explorada a complexidade envolvida na manutenção de sistemas de defesa, onde a disponibilidade operacional é essencial para a eficácia das operações.

Neste contexto, a análise dos fatores que afetam a disponibilidade operacional e o suporte eficiente desses sistemas se torna vital. Além das definições tradicionais, é necessário entender como aspectos administrativos e logísticos interferem no desempenho geral do sistema.

2.1 Análise RAM

A análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM) está entre as técnicas práticas mais comumente usadas para determinar o desempenho de sistemas (DUMA; KRIEG, 2005). Um indicador-chave de desempenho de um sistema é a sua disponibilidade, que, por sua vez, é uma função da confiabilidade e da manutenibilidade. Estas últimas dependem das características que são inerentes e incluídas no projeto da configuração geral do sistema a ser entregue para uso operacional (incluindo tanto os elementos principais do sistema quanto sua infraestrutura de suporte logístico e de manutenção) (BLANCHARD, 1998). O objetivo desta seção é introduzir os princípios e conceitos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade e discutir como as métricas desses fatores podem afetar o desempenho do sistema.

2.1.1 Confiabilidade

A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um sistema ou produto operar de maneira satisfatória durante um período específico ou ao realizar uma missão, desde que utilizado sob condições operacionais previamente estabelecidas (BLANCHARD *et al.*, 1990); (BLANCHARD *et al.*, 1995);(BLANCHARD, 1998). Esse conceito é fundamental

no contexto de sistemas complexos, onde o desempenho consistente e previsível é essencial para garantir a eficiência das operações.

Segundo Blanchard (1998), na determinação dos requisitos de suporte de um sistema, a frequência de manutenção surge como um parâmetro de alta relevância. A frequência de manutenção de um item específico está diretamente associada à sua confiabilidade, o que implica que, à medida que a confiabilidade do sistema aumenta, a necessidade de intervenções de manutenção diminui. Por outro lado, sistemas com baixa confiabilidade tendem a demandar maior frequência de manutenção, o que, em última análise, afeta a disponibilidade operacional e o desempenho global do sistema.

A confiabilidade de um sistema é frequentemente mensurada por métricas como o tempo médio entre falhas (MTBF) ou a taxa de falhas (λ), sendo o objetivo maximizar a confiabilidade operacional e, simultaneamente, minimizar a ocorrência de falhas (BLANCHARD *et al.*, 1990). A confiabilidade, representada pela função $R(t)$ (*Reliability*), é definida pela Equação 2.1:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Nesse sentido, a taxa de falhas (λ) é caracterizada pelo número total de falhas que ocorrem durante um determinado intervalo de tempo e pode ser expressa como o número de falhas por hora de operação, conforme a Equação 2.2 (BLANCHARD *et al.*, 1990); (BLANCHARD *et al.*, 1995);(BLANCHARD, 1998):

$$\lambda = \frac{\text{número total de falhas}}{\text{total de horas operadas}} \quad (2.2)$$

De acordo com esses autores, o MTBF é medido em horas de operação, considerando uma distribuição exponencial. O MTBF é definido pela Equação 2.3, sendo essa relação válida apenas para distribuições exponenciais, onde a taxa de falha (λ) é constante:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

Essas métricas são de extrema importância para a disponibilidade operacional, que está diretamente relacionada ao tempo durante o qual o sistema está disponível para operação. A disponibilidade operacional é impactada tanto pela confiabilidade do sistema quanto pela eficiência do suporte de manutenção, incluindo os processos logísticos e administrativos. Quando o tempo de inatividade aumenta, seja devido a falhas inesperadas ou atrasos logísticos e administrativos, a disponibilidade do sistema é diretamente afetada, comprometendo o desempenho global.

2.1.2 Disponibilidade

Segundo a norma NBR 5462, a disponibilidade é definida como a “capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, considerando os aspectos combinados de confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados” (ABNT, 1994). A disponibilidade de um sistema é quantitativamente avaliada pela razão entre o tempo de atividade e o somatório dos tempos de atividade e inatividade. Por exemplo, um fator crítico para a determinação do tempo de inatividade é a disponibilidade de peças de reposição, que depende do comportamento da demanda durante o *lead-time*, definido como o intervalo entre a encomenda e a recepção de uma peça (JIN *et al.*, 2017).

A análise da disponibilidade sob essa ótica evidencia a necessidade de uma gestão eficiente de recursos, que vá além da simples manutenção técnica. Fatores como a prontidão de peças e o tempo de resposta da equipe de suporte se mostram determinantes na performance final do sistema.

A disponibilidade de um sistema pode ser categorizada em três tipos principais: disponibilidade inerente (A_i), disponibilidade alcançada (A_a) e disponibilidade operacional (A_o).

- **Disponibilidade Inerente (A_i):** A disponibilidade inerente é a capacidade de um sistema estar operacional sob condições ideais, excluindo as manutenções preventivas, bem como os atrasos logísticos e administrativos (BLANCHARD *et al.*, 1990). Esta métrica é relevante em ambientes controlados, onde se busca avaliar o desempenho máximo potencial do sistema sem a influência de fatores externos. A disponibilidade inerente pode ser expressa pela Equação 2.4:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MCT} \quad (2.4)$$

MTBF = tempo médio entre falhas

MCT = tempo médio de manutenção corretiva

- **Disponibilidade Alcançada (A_a):** A disponibilidade alcançada expande o conceito de disponibilidade inerente, incluindo manutenções preventivas na sua avaliação. Assim, considera tanto as manutenções corretivas quanto preventivas, mas ainda exclui os atrasos logísticos e administrativos (BLANCHARD *et al.*, 1990). Esta mé-

trica é crítica para avaliar a disponibilidade em condições quase ideais, mas com a manutenção preventiva incorporada.

A disponibilidade alcançada pode ser expressa pela Equação 2.5:

$$Aa = \frac{MTBM}{MTBM + M} \quad (2.5)$$

MTBM = tempo médio entre as manutenções (corretiva e preventiva)

M = tempo médio de manutenção (corretiva e preventiva)

No entanto, é a disponibilidade operacional (Ao) que oferece a visão mais próxima da realidade em ambientes de operações complexas, como sistemas de defesa. Ela leva em conta todas as fontes de inatividade e é a métrica mais aplicável para medir o desempenho sob condições reais.

- **Disponibilidade Operacional (Ao):** A disponibilidade operacional é uma medida que considera todas as fontes de inatividade, incluindo os atrasos administrativos e logísticos (DING *et al.*, 2017). Este conceito reflete a capacidade de que um sistema esteja funcional em um ambiente operacional real, quando solicitado (BLANCHARD *et al.*, 1990). A disponibilidade operacional integra os tempos de manutenção ativa, atrasos logísticos e atrasos administrativos em suas fórmulas, proporcionando uma visão abrangente da eficiência operacional do sistema. A disponibilidade operacional pode ser expressa pelas equações 2.6 e 2.7:

$$Ao = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (2.6)$$

$$Ao = \frac{MTBM}{MTBM + AMT + ADT + LDT} \quad (2.7)$$

MTBM = tempo médio entre as manutenções (corretiva e preventiva)

MDT = tempo médio de inatividade, que inclui tempo médio de manutenção e atrasos logísticos e administrativos

AMT = tempo médio de manutenção ativa

ADT = tempo médio de atrasos administrativos (a parte do tempo de inatividade durante a qual a manutenção é adiada por razões administrativas é referida como tempo de atraso administrativo). Por exemplo, prioridade de alocação de pessoal, greve trabalhista e restrição organizacional. Embora o ADT exclua o tempo de manutenção ativo, ele frequentemente representa uma parte considerável do tempo médio de inatividade para manutenção (MDT).

LDT = tempo médio de atrasos logísticos (o tempo de atraso logístico é a quantidade de tempo de inatividade de manutenção incorrido enquanto se espera que uma peça sobressalente fique disponível, uma peça de equipamento de teste seja disponibilizada para que a manutenção possa ser realizada, transporte ou oportunidade de usar uma instalação necessária para manutenção). O LDT é um componente significativo do tempo de inatividade geral para manutenção, mas exclui o tempo de manutenção ativo.

Essa equação demonstra que a disponibilidade operacional é diretamente proporcional ao MTBM e inversamente proporcional ao MDT. Em outras palavras, sistemas que apresentam maior confiabilidade, operando por longos períodos sem a necessidade de intervenção, e que possuem alta manutenibilidade, onde as falhas são corrigidas rapidamente, tendem a apresentar maior disponibilidade operacional. Assim, garantir que o tempo entre as manutenções seja maximizado e o tempo de inatividade, seja minimizado, é essencial para a otimização da disponibilidade.

2.1.3 Manutenibilidade

A manutenibilidade é uma característica intrínseca de um sistema, que reflete sua facilidade, precisão, segurança e economia na execução das funções de manutenção. Esta propriedade influencia diretamente o tempo necessário para que as atividades de manutenção sejam realizadas, seja para ações corretivas ou preventivas. A manutenibilidade, quando definida de forma ampla, pode ser avaliada por uma combinação de variáveis, como o tempo decorrido para execução das tarefas, as horas de trabalho envolvidas, a frequência de manutenção, os custos associados e os fatores logísticos relacionados (BLANCHARD, 1998).

De acordo com Blanchard (1998), os tempos associados às ações de manutenção podem ser divididos em duas categorias principais:

- **Manutenção corretiva:** envolve ações não programadas necessárias para restaurar o sistema ao seu nível de desempenho adequado após a ocorrência de uma falha, ou a percepção de uma falha. Essas atividades incluem o diagnóstico do problema, desmontagem de componentes, reparo, substituição, remontagem, ajustes e verificações. A manutenção corretiva, por sua natureza reativa, pode gerar maior tempo de inatividade, impactando negativamente a disponibilidade do sistema.
- **Manutenção preventiva:** refere-se às ações programadas que visam manter o sistema em um nível de desempenho especificado. Inclui inspeções regulares, calibrações, monitoramento de condições e a substituição de itens críticos de forma programada. A manutenção preventiva, ao antecipar problemas e evitar falhas inesperadas, contribui para reduzir o tempo de inatividade e aumentar a confiabilidade e a disponibilidade operacional do sistema.

De acordo com Jones (2006), manutenção pode ser definida como a realização de uma ação física em um item que se encontra fora de operação, visando restaurar sua funcionalidade ou prevenir a ocorrência de falhas futuras. O tempo de manutenção é composto pelo tempo das tarefas individuais associadas às ações corretivas e preventivas necessárias para um determinado sistema ou produto. Wireman (2005) destaca que a principal função da manutenção é assegurar que os ativos das empresas permaneçam constantemente alinhados com suas especificações de projeto. A manutenibilidade, por sua vez, mede a facilidade e rapidez com que um sistema pode ser mantido, sendo quantificada em termos do tempo necessário para realizar as tarefas de manutenção.

A disponibilidade operacional é diretamente influenciada pela manutenibilidade, uma vez que a rapidez e eficiência com que os sistemas podem ser reparados ou mantidos determinam o tempo que eles permanecem aptos para uso. Nesse sentido, sistemas com alta manutenibilidade tendem a reduzir o tempo de inatividade, o que melhora sua disponibilidade geral.

No entanto, além da manutenibilidade intrínseca do sistema, fatores externos como atrasos logísticos e administrativos também desempenham um papel importante. Atrasos na obtenção de peças de reposição, na alocação de recursos humanos ou em processos burocráticos podem aumentar significativamente o tempo de inatividade. Esses atrasos logísticos e administrativos aumentam o tempo necessário para concluir as manutenções, tanto corretivas quanto preventivas, comprometendo a eficiência e reduzindo a disponibilidade operacional. Logo, mesmo que um sistema possua alta manutenibilidade, atrasos no suporte logístico podem neutralizar esses benefícios.

Em sistemas de defesa, a integração entre confiabilidade, manutenibilidade e suporte logístico é essencial para garantir o bom desempenho e a continuidade operacional. A redução dos atrasos logísticos e administrativos, aliada a uma maior facilidade de manutenção, resulta em uma operação mais eficiente e com menores custos.

2.1.4 Análise RAMS

A análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (RAM) tem sido, ao longo dos anos, uma ferramenta essencial para avaliar o desempenho de sistemas complexos, especialmente em setores como defesa, aviação e infraestruturas críticas. Esse tipo de análise era tradicionalmente utilizado para garantir que os sistemas fossem projetados para funcionar de maneira confiável, permanecessem disponíveis por longos períodos e pudessem ser mantidos de forma eficaz e econômica. No entanto, com o avanço da digitalização e o crescente uso de tecnologias interconectadas, tornou-se evidente a necessidade de expandir essa abordagem para incluir um novo componente: a Segurança (*Safety*).

A análise RAMS (Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança) surge como uma resposta à crescente complexidade dos sistemas modernos, que agora dependem fortemente de tecnologias digitais. Segundo Pirbhulal *et al.* (2021), a inclusão de aspectos de cibersegurança e segurança operacional tornou-se essencial para proteger infraestruturas críticas que estão cada vez mais expostas a vulnerabilidades cibernéticas e riscos operacionais.

Por exemplo, em um setor como o de energia, onde redes elétricas estão sendo modernizadas com tecnologias inteligentes, a análise RAMS pode ajudar a garantir que esses sistemas sejam protegidos contra falhas técnicas e ataques cibernéticos, enquanto mantêm uma alta disponibilidade operacional. A transição da análise RAM para RAMS reflete a necessidade de abordagens mais integradas, que considerem não apenas a confiabilidade e manutenção do sistema, mas também sua resiliência a ameaças digitais.

A inclusão de aspectos de segurança reflete a importância crescente de proteger os sistemas não apenas contra falhas técnicas, mas também contra ameaças cibernéticas e riscos operacionais, assegurando que a operação de infraestruturas críticas seja resiliente e segura em um ambiente cada vez mais vulnerável a ataques e falhas sistêmicas.

A análise RAMS representa uma evolução natural da análise RAM, que responde às novas demandas de um mundo cada vez mais digital e interconectado. Ao incorporar os aspectos de segurança operacional e cibersegurança, a análise RAMS oferece uma visão mais abrangente sobre o desempenho e a proteção de sistemas complexos, especialmente em infraestruturas críticas.

2.2 Disponibilidade Operacional e Suportabilidade

Ao explorar o conceito de disponibilidade operacional, é comum o foco do estudo estar na capacidade do sistema de se manter funcional e no tempo necessário para a recuperação após uma falha. No entanto, para garantir uma manutenção eficaz, é importante dispor de um suporte logístico e administrativo adequado, um conceito conhecido como suportabilidade. Este suporte, que muitas vezes opera nos bastidores, pode ser um fator determinante para minimizar atrasos que impactam negativamente a disponibilidade do sistema.

Para garantir essa capacidade de resposta eficiente, a integração de todos os elementos necessários ao suporte deve ser planejada de forma estratégica. Aqui entra o conceito de Suporte Integrado do Produto (*Integrated Product Support* - IPS), que assegura uma abordagem abrangente e coerente para a gestão da manutenção.

O IPS é uma abordagem que visa garantir que todos os elementos necessários para o suporte de um sistema sejam considerados e harmonizados. Conforme a especificação SX000i de Aerospace e Defence (2022), o IPS pode ser segmentado em doze elementos essenciais, conforme é apresentado na figura 2.1, que abordam todas as dimensões da suportabilidade de sistemas complexos, desde a fase de projeto até a operação. Esses elementos podem ser organizados em três grandes áreas: Gestão do Ciclo de Vida de Suportabilidade, Gestão Técnica e Gestão de Infraestrutura.

2.2.1 Gestão do Ciclo de Vida de Suportabilidade

- Operações relacionadas à logística: Engloba as atividades de planejamento, execução e monitoramento dos fluxos de suprimentos e serviços ao longo de todo o ciclo de vida do sistema, garantindo que os recursos estejam disponíveis onde e quando necessários.
- Manutenção: Inclui todas as atividades de reparo, substituição e prevenção de falhas, assegurando que o sistema continue operando de maneira eficiente e dentro dos padrões de confiabilidade e segurança.
- Suporte de Suprimentos: Refere-se à aquisição, armazenamento e distribuição de peças de reposição e componentes críticos para garantir que o sistema tenha os recursos necessários para a manutenção oportuna.
- Gestão de Suporte ao Produto: Enfatiza a gestão integrada de todas as atividades de suporte necessárias para manter a sustentação do sistema durante sua vida útil, abrangendo processos, ferramentas e práticas

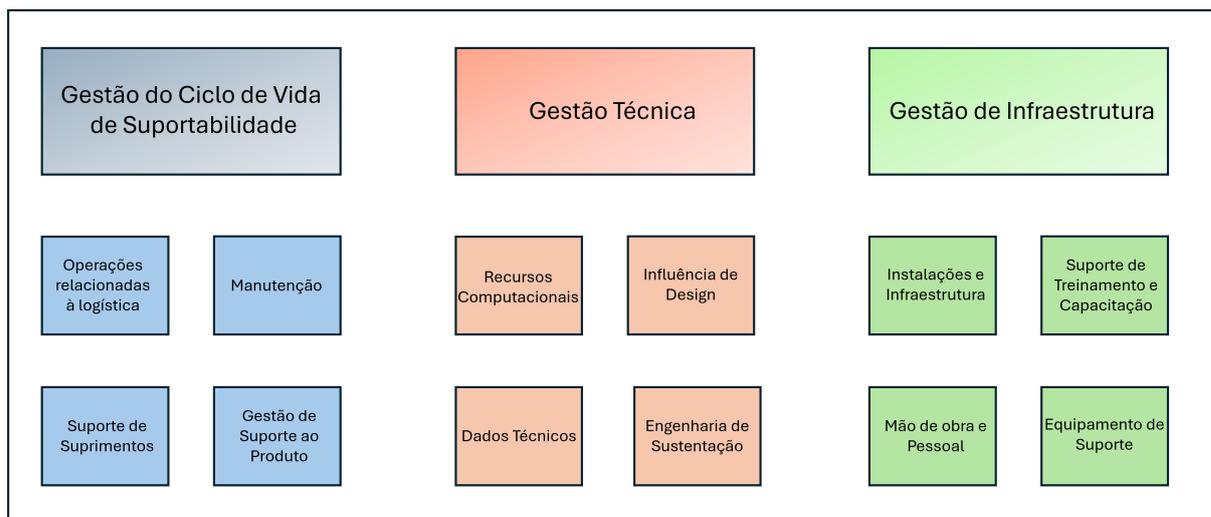
2.2.2 Gestão Técnica

- Recursos Computacionais: Compreende os sistemas e ferramentas de tecnologia da informação necessários para monitorar, prever e gerenciar a manutenção, tais como softwares de gestão de manutenção assistida por computador (CMMS) e sistemas de automação.
- Influência de Design: Compreende a influência que o design do sistema exerce sobre sua manutenibilidade e disponibilidade. Sistemas projetados com facilidade de manutenção e com modularidade aumentam a eficiência do suporte.
- Dados Técnicos: Envolve a coleta, armazenamento e análise de dados gerados pelo sistema ao longo de seu ciclo de vida, permitindo que decisões informadas sobre manutenção e melhorias sejam tomadas de maneira eficiente.
- Engenharia de Sustentação: Refere-se ao desenvolvimento contínuo de soluções técnicas para garantir que o sistema mantenha sua capacidade operacional ao longo de seu ciclo de vida, adaptando-se a novos requisitos e tecnologias.

2.2.3 Gestão de Infraestrutura

- Instalações e Infraestrutura: Engloba os espaços físicos, equipamentos e ferramentas necessárias para realizar atividades de manutenção e reparo de forma adequada e segura.
- Suporte de Treinamento e Capacitação: Trata do desenvolvimento e implementação de programas de treinamento para garantir que o pessoal envolvido no suporte e manutenção tenha as habilidades necessárias para operar e manter o sistema de maneira eficaz.
- Mão de Obra e Pessoal: Refere-se à gestão dos recursos humanos, incluindo a alocação de técnicos qualificados e a organização de equipes de manutenção e suporte para garantir que o sistema tenha sempre a mão de obra adequada disponível.
- Equipamento de Suporte: Compreende as ferramentas e equipamentos auxiliares necessários para realizar a manutenção e garantir que o sistema esteja pronto para operação.

FIGURA 2.1 – Visão geral dos elementos do IPS



Fonte: adaptado de Aerospace e Defence (2022)

Embora o IPS ofereça uma estrutura abrangente e detalhada para o gerenciamento de suporte ao longo do ciclo de vida de sistemas complexos, existem particularidades nas fases de operação e manutenção que demandam uma abordagem diferenciada. Os doze elementos do IPS são fundamentais para assegurar que todas as dimensões do suporte, desde o design até a desativação, sejam devidamente consideradas. No entanto, esses elementos são amplos e cobrem um vasto espectro de atividades e responsabilidades.

Nas fases de operação e manutenção, os desafios tornam-se mais específicos e frequentemente mais críticos. Os atrasos logísticos e administrativos que surgem durante essas fases são mais evidentes e exercem impactos diretos sobre a disponibilidade operacional do sistema. Esses atrasos podem ser provocados por uma variedade de fatores que não são abordados diretamente pelos elementos tradicionais do IPS, mas que se manifestam de maneira mais significativa e urgente quando o sistema já está em operação.

Por exemplo, enquanto o IPS abrange aspectos como o gerenciamento de suprimentos e a infraestrutura de manutenção, ele não detalha suficientemente os desafios específicos relacionados a atrasos na entrega de peças sobressalentes devido a problemas de transporte, ou a lentidão nos processos administrativos que afetam a alocação de recursos ou a autorização para reparos. Tais fatores de atraso podem surgir devido a ineficiências na cadeia de suprimentos, falhas na comunicação interdepartamental, ou burocracias internas que, embora não estejam diretamente ligadas aos elementos tradicionais do IPS, possuem um impacto significativo na operação diária do sistema.

Dado o foco deste estudo na disponibilidade operacional durante as fases de operação e manutenção, torna-se imprescindível adotar uma abordagem que transcenda os elementos do IPS. Portanto, a escolha de não se limitar aos elementos do IPS, mas sim de investigar

fatores específicos de atraso, é justificada pela necessidade de uma análise mais profunda e contextualizada das realidades enfrentadas durante a fase de operação e manutenção. Essa abordagem permite identificar e mitigar de maneira mais eficaz os pontos críticos que afetam a disponibilidade operacional, proporcionando uma solução mais precisa e aplicável aos desafios inerentes a sistemas complexos.

2.3 Indicadores de Desempenho

Na gestão de sistemas complexos, a medição do desempenho das atividades de manutenção desempenha um papel determinante para garantir a eficiência das operações e o controle de custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. De acordo com Kumar *et al.* (2013), os Indicadores de Desempenho (PIs) surgem como ferramentas essenciais para o monitoramento contínuo da eficiência dos processos de manutenção, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria e a correção de deficiências que possam comprometer a confiabilidade e a disponibilidade operacional dos sistemas. Nesse contexto, a coleta e análise de dados sobre o desempenho de manutenção contribuem diretamente para maximizar a prontidão operacional dos sistemas e mitigar possíveis falhas.

2.3.1 Indicadores de Desempenho na Gestão da Manutenção

Os Indicadores de Desempenho, quando usados para medir desempenho de manutenção em uma área ou atividade, são chamados de Indicadores de Desempenho de Manutenção, ou MPIs (WIREMAN, 2005). Os MPIs introduzem métricas específicas, proporcionam uma abordagem objetiva para mensurar variáveis críticas, como o tempo de inatividade, os custos de manutenção e a própria disponibilidade dos sistemas. Kumar *et al.* (2013) enfatizam que o uso adequado dos PIs permite comparar o estado atual dos sistemas com metas pré-estabelecidas, facilitando a implementação de ajustes estratégicos que otimizam o desempenho global e reduzem desperdícios de recursos. Dessa maneira, as organizações são capazes de operar com maior eficiência, minimizando o impacto de falhas não programadas e otimizando o tempo de resposta frente às demandas operacionais.

Outro aspecto relevante, destacado na literatura, é a integração dos indicadores de desempenho em sistemas de medição mais amplos. Parida e Chattopadhyay (2007) definem o *Maintenance Performance Measurement* (MPM) como um processo multidisciplinar que visa justificar o valor gerado pelas atividades de manutenção, alinhando-as aos requisitos estratégicos da empresa. Isso significa que a medição de desempenho de manutenção vai além da simples coleta de dados; ela envolve uma análise profunda que permite reavaliar políticas de manutenção, justificar novos investimentos e ajustar a alocação de recursos para otimizar o desempenho e reduzir os custos ao longo do ciclo de vida dos sistemas. Se-

gundo Wireman (2005), a medição do desempenho, quando usada corretamente, ressalta oportunidades de melhoria, detecta problemas e auxilia a busca de soluções.

Além disso, Kumar *et al.* (2013)) argumentam que o uso combinado de indicadores prospectivos e retrospectivos oferece uma abordagem robusta para a gestão de manutenção. Indicadores prospectivos funcionam como ferramentas preditivas, alertando a organização sobre potenciais problemas antes que eles ocorram, enquanto os indicadores retrospectivos oferecem uma visão analítica das ações já realizadas, permitindo que áreas de melhoria sejam identificadas e ajustadas. Essa combinação proporciona um equilíbrio eficaz entre prevenção e correção, essencial para maximizar a eficiência dos sistemas e garantir a sua disponibilidade contínua.

Contudo, a utilização eficaz dos indicadores de desempenho de manutenção enfrenta desafios, especialmente em termos de coleta de dados precisos e adequação dos indicadores ao contexto específico de cada organização. Kumar *et al.* (2013) apontam que, para que a medição de desempenho seja realmente eficaz, os dados devem ser estruturados de acordo com os objetivos estratégicos da organização. Isso garante que as medições não apenas forneçam informações gerenciais, mas que também contribuam diretamente para a geração de valor e para a melhoria contínua dos processos de manutenção.

2.3.2 Indicadores de Desempenho de Suporte Logístico

Os indicadores de desempenho, amplamente utilizados nas abordagens gerenciais e operacionais, assumem uma função estratégica na gestão do suporte logístico. Conforme apontado por Franceschini *et al.* (2007), a utilização desses indicadores é fundamental para monitorar os processos logísticos e garantir que os objetivos estabelecidos sejam atingidos de maneira eficaz e eficiente. No contexto do suporte logístico de sistemas complexos, esses indicadores têm a função de comunicar o desempenho tanto para os gerentes internos quanto para o público externo interessado, promovendo uma visão clara e objetiva dos resultados alcançados.

Na estrutura de medição de desempenho, os KPIs, ou Indicadores-chave de Desempenho, desempenham um papel fundamental na avaliação da eficácia das operações logísticas. Segundo Franceschini *et al.* (2007), os KPIs são métricas estratégicas que refletem diretamente os objetivos principais de uma organização. Eles fornecem uma visão clara sobre o quão bem os processos críticos estão sendo gerenciados e desempenhados em relação às metas estabelecidas. Diferente de outros indicadores de desempenho mais gerais, os KPIs estão diretamente alinhados aos resultados estratégicos desejados pela empresa, como aumento da eficiência logística, redução de custos ou melhoria da disponibilidade operacional. Como destacado, qualquer indicador cujo objetivo seja otimizar esses aspectos pode ser classificado como um KPI, visto que ele se alinha diretamente aos objetivos

fundamentais da empresa.

A diferença entre KPIs e PIs é sutil, mas de grande importância. Enquanto os PIs podem ser usados para medir aspectos individuais de uma operação, os KPIs estão íntimos à estratégia corporativa e são responsáveis por mensurar áreas que impactam diretamente os resultados globais da organização. Por exemplo, um KPI que mede o tempo de inatividade de equipamentos está focado não apenas em quantificar o desempenho, mas em garantir que os objetivos de disponibilidade operacional sejam atingidos, o que, por sua vez, reduz custos de manutenção e eleva a eficiência operacional. Essa distinção é vital, pois permite que as organizações identifiquem com precisão os pontos de melhoria críticos para o alcance de suas metas estratégicas. Em outras palavras, todos os KPIs são PIs, mas nem todos os PIs podem ser considerados KPIs.

Em termos práticos, a implementação de KPIs voltados para a manutenção e logística não só ajuda a alinhar as operações com os objetivos estratégicos da empresa, como também garante que os recursos sejam alocados de maneira mais eficiente. Esses indicadores fornecem dados concretos para a avaliação de desempenho, facilitando a identificação de áreas que necessitam de melhorias e permitindo a criação de soluções baseadas em evidências.

2.3.3 Norma EN 15341 - Indicadores-chave de Desempenho de Manutenção

O Comitê Europeu de Padronização (CEN), por meio da norma EN 15341 Institution (2007), aborda os Indicadores-Chave de Desempenho de Manutenção como uma estrutura fundamental para a gestão eficaz da manutenção em ativos técnicos, industriais e de suporte. Seu objetivo é fornecer métricas que permitam às organizações monitorar e melhorar a eficiência e eficácia dos processos de manutenção. Os indicadores são agrupados em três categorias principais: econômicos, técnicos e organizacionais, sendo utilizados para avaliar o desempenho, identificar pontos fortes e fracos, planejar ações de melhoria e acompanhar mudanças ao longo do tempo.

A referida norma detalha uma série de indicadores econômicos, como, por exemplo, o custo total de manutenção em relação ao valor de substituição dos ativos e o custo de manutenção preventiva em relação ao custo total de manutenção. Esses indicadores são vitais para medir a eficiência financeira das atividades de manutenção e ajudam a identificar oportunidades de redução de custos sem comprometer a qualidade ou a confiabilidade do sistema.

No campo dos indicadores técnicos, a norma destaca indicadores como a disponibilidade operacional, e o tempo médio entre falhas, que avalia a confiabilidade dos sistemas ao

longo do tempo. Esses indicadores técnicos fornecem uma visão clara sobre o desempenho operacional dos equipamentos e como a manutenção afeta diretamente sua disponibilidade e confiabilidade.

Além disso, a norma inclui indicadores organizacionais, como o número de horas de treinamento por funcionário de manutenção ou o número de ordens de trabalho executadas conforme programado, que avaliam a eficiência dos processos de gestão de pessoal e planejamento.

Portanto, a norma EN 15341 Institution (2007) fornece uma estrutura abrangente que permite às empresas não apenas medir o desempenho atual, mas também comparar internamente e externamente (*benchmarking*) e ajustar suas práticas de manutenção para atingir níveis de excelência.

2.4 Revisão da Literatura

A disponibilidade operacional tem sido historicamente um fator determinante de custos ao longo do ciclo de vida de sistemas complexos, especialmente no contexto de defesa. Nos últimos anos, a disponibilidade operacional tornou-se um requisito essencial em contratos do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Anteriormente, a disponibilidade operacional era dividida em seus componentes, como confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de peças de reposição, e esses requisitos eram aplicados individualmente ao contratante, enquanto a responsabilidade global pela disponibilidade operacional permanecia com a agência adquirente (MANN; RICH, 2010). Essa abordagem fragmentada tornava o gerenciamento da disponibilidade menos eficiente, uma vez que os atrasos e falhas em qualquer um dos componentes poderiam impactar o desempenho geral do sistema.

Entender como a disponibilidade operacional tem evoluído e sido incorporada em modelos contratuais é fundamental para contextualizar sua aplicação atual. Isso também permite identificar as inovações que têm potencial para aumentar a eficiência na gestão de sistemas complexos.

Estudos como o de Filippi *et al.* (2015) destacam que a disponibilidade operacional é o núcleo da Logística Baseada em Desempenho (*Performance Based Logistics* - PBL), cujo objetivo principal é fornecer suporte eficiente e econômico para sistemas complexos. O grande desafio nessa abordagem é equilibrar dois fatores aparentemente contraditórios: maximizar a disponibilidade operacional enquanto se minimiza o Custo do Ciclo de Vida (LCC). De acordo com Murty e Naikan (1995), a relação entre disponibilidade e custos de manutenção é crítica, pois maiores níveis de disponibilidade podem ser alcançados com o aumento dos gastos com manutenção. No entanto, um investimento excessivo pode não

ser economicamente viável.

A logística baseada em desempenho (PBL) é um tipo de contrato baseado em uma estratégia de aquisição integrada e sustentabilidade para melhorar a capacidade e prontidão de sistemas. O PBL inclui um relacionamento de longo prazo e incentivos com os prestadores de serviços, a fim de apoiar os objetivos do usuário final (BERKOWITZ *et al.*, 2005). O PBL é implementado por meio de indicadores que avaliam o desempenho do sistema, fornecendo dados gerenciais essenciais para manter a prontidão operacional e controlar os custos.

Um aspecto central dessa abordagem é a necessidade de estabelecer métodos precisos para medir o desempenho, assegurando que os resultados obtidos reflitam com exatidão a realidade operacional. A tendência natural dos prestadores de serviço é buscar otimizar esses resultados, buscando representar um desempenho superior ao real, uma vez que seus lucros estão diretamente atrelados a esses indicadores. Diante disso, torna-se vital que os clientes atuem de maneira proativa na negociação dos parâmetros de medição, a fim de garantir que os indicadores de desempenho representem fielmente a efetividade do sistema (LEE *et al.*, 2013).

Por outro lado, para Hollick (2009), mesmo com a implementação de contratos baseados em desempenho, como os promovidos pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a responsabilidade pela disponibilidade não é completamente transferida para o fornecedor. Embora os fornecedores sejam contratualmente responsáveis por fatores específicos, como a disponibilidade de peças sobressalentes, o cumprimento das metas de disponibilidade operacional pode não ser suficiente para garantir o desempenho esperado. A falha em alcançar os níveis requeridos de disponibilidade está frequentemente associada a fatores como atrasos administrativos e logísticos, que muitas vezes não são completamente controláveis pelos fornecedores.

No estudo conduzido por Mann e Rich (2010), observa-se que o tempo de inatividade, definido como o período necessário para restaurar um sistema a um estado operacional, pode ou não ter um impacto significativo na Ao, dependendo da estratégia de manutenção e suporte adotada. A modelagem precisa do tempo de inatividade é essencial para entender sua influência sobre a Ao. Murty e Naikan (1995)) também destacam que a otimização da disponibilidade deve considerar tanto os limites econômicos quanto operacionais, visando maximizar a eficiência sem comprometer os recursos financeiros.

Sendo assim, a manutenção eficaz e o suporte representam componentes vitais para o controle orçamentário e para a eficiência operacional. As pesquisas de Blanchard *et al.* (1995), Conlon *et al.* (1982) e Sherbrooke (2006) indicam que a disponibilidade operacional é amplamente utilizada em avaliações operacionais e na determinação de custos de ciclo de vida. Essa métrica serve como um ponto de partida essencial para análises estraté-

gicas de dimensionamento de forças e efetividade operacional. Ela também é amplamente utilizada em avaliações operacionais, testes de campo e cálculos relacionados ao ciclo de vida (STAPELBERG, 2009). No entanto, a discrepância entre o tempo de manutenção e os atrasos administrativos tem sido uma barreira para alcançar uma maior precisão nas estimativas de disponibilidade.

Um exemplo disso, conforme observado por Hollick (2009), é o impacto do tempo de atraso administrativo, que pode não ser claramente definido e frequentemente se mistura com o tempo de manutenção. Atrasos administrativos, como a espera por alocação de pessoal ou reorganizações internas, são menos tangíveis, mas têm um impacto significativo no tempo total de inatividade do sistema. Além disso, os atrasos logísticos, como o tempo necessário para a entrega de peças críticas, continuam a ser um dos principais fatores que prolongam o tempo de inatividade. Mohanty (1991) também destaca que, em ambientes industriais, o tempo de espera por peças sobressalentes e ferramentas especializadas pode aumentar o tempo de inatividade, afetando diretamente a disponibilidade operacional.

Um exemplo clássico desse cenário é o tempo transcorrido entre a chegada de uma peça que sofreu atraso logístico e o momento em que a tarefa de manutenção é atribuída a um técnico disponível. Esse intervalo é frequentemente classificado como atraso administrativo, uma vez que a espera pela alocação de pessoal impacta diretamente o tempo total de inatividade (HOLLICK, 2009).

Estudos como os de Ding *et al.* (2017) ressaltam que a melhoria na confiabilidade dos sistemas nem sempre se traduz diretamente em melhor desempenho, devido à persistência de atrasos logísticos. No caso de sistemas como helicópteros, embora as melhorias tecnológicas tenham aumentado a confiabilidade, a disponibilidade operacional não teve o mesmo progresso devido à lentidão na cadeia de suprimentos e na resposta logística. Da mesma forma, Hoseinie *et al.* (2015) relata que os atrasos logísticos e administrativos correspondem a cerca de 25% de todo o tempo de inatividade de sistemas como a máquina shearer (equipamento usado na mineração subterrânea, especialmente em minas de carvão), destacando a importância crítica de controlar e minimizar esses fatores para aumentar a eficiência operacional.

Ainda no campo prático, o estudo de Huang *et al.* (2016) revela que, em sistemas *offshore*, o tempo de inatividade causado por problemas logísticos pode representar até 50% de todos os desligamentos, ressaltando a relevância de uma logística eficiente nesses contextos.

O atraso logístico é uma função do tempo de espera por peças de reposição e do tempo de espera por outros recursos, como instalações de manutenção, equipamentos de manutenção e pessoal. A maior parte da pesquisa sobre atrasos logísticos lida com a descoberta do número ótimo de peças de reposição. A maioria dos modelos de provisionamento de

peças de reposição tenta maximizar a disponibilidade de peças (ou minimizar o atraso esperado) sob uma restrição de custo (KUMAR *et al.*, 2007). Segundo Kumar e Knezevic (1998), dois recursos de suporte logístico que têm forte impacto na disponibilidade operacional são as peças sobressalentes e as instalações de reparo, por esse motivo os modelos de otimização de peças sobressalentes são amplamente discutidos na literatura.

No entanto, os atrasos logísticos, bem como os atrasos administrativos, abrangem um escopo mais amplo que vai além da simples questão do provisionamento de peças. Este trabalho expande a abordagem tradicional ao integrar uma análise mais abrangente que contempla, além do tempo de espera por peças, fatores como a disponibilidade de recursos de manutenção, equipamentos especializados e mão de obra qualificada. Estes elementos são vitais para a eficiência dos processos de manutenção e, conseqüentemente, para a disponibilidade operacional dos sistemas.

A revisão da literatura evidencia que os atrasos logísticos e administrativos são fatores críticos que impactam diretamente a Ao de sistemas complexos, especialmente no setor de defesa. A disponibilidade operacional é um determinante essencial dos custos associados ao ciclo de vida de tais sistemas, além de ser um requisito cada vez mais exigido em contratos de defesa, conforme mencionado por Mann e Rich (2010). Esses atrasos têm a capacidade de comprometer a prontidão operacional de equipamentos, influenciando negativamente a capacidade de responder adequadamente às demandas de missões e, conseqüentemente, a eficiência global do sistema.

A definição de indicadores capazes de medir com exatidão a capacidade de realizar missões de acordo com as demandas e intensidades exigidas permanece como um campo de pesquisa em expansão, especialmente na área de engenharia de sistemas. Tal fato evidencia divergências e incertezas na utilização de certos indicadores de desempenho, ressaltando a dificuldade de equilibrar as necessidades operacionais com os recursos disponíveis e os custos associados.

Em resumo, a literatura demonstra que a gestão eficaz dos atrasos logísticos e administrativos é fundamental para a otimização da disponibilidade operacional. A correta modelagem e minimização desses atrasos não apenas melhoram a eficiência operacional, mas também proporcionam uma significativa redução de custos ao longo do ciclo de vida dos sistemas de defesa. Nesse sentido, a identificação e a mitigação desses fatores surgem como elementos determinantes para atingir altos níveis de desempenho e disponibilidade operacional, conforme indicam os estudos revisados.

3 Mapeamento Sistemático da Literatura

Neste capítulo, é detalhado o método de pesquisa empregado neste estudo, além dos passos seguidos e a justificativa para sua escolha. Essa estruturação visa garantir a replicabilidade do estudo por outros pesquisadores, assegurando consistência e precisão metodológica.

Para a investigação, optou-se pelo método de mapeamento sistemático da literatura, que se caracteriza por uma abordagem baseada em evidências. O objetivo central foi explorar pesquisas primárias relacionadas ao tema da disponibilidade operacional e atrasos logísticos e administrativos, a fim de mapear lacunas e avanços no campo. O mapeamento sistemático oferece uma visão panorâmica de um campo de estudo, categorizando as contribuições relevantes e quantificando sua representatividade. O mapeamento sistemático busca estruturar e organizar o conhecimento disponível de forma abrangente (PETERSEN *et al.*, 2015). Diante desse contexto, o método foi escolhido para investigar as questões de mapeamento estabelecidas.

3.1 Mapeamento Sistemático

Durante a realização deste estudo, seguiu-se um procedimento rigoroso, desde a concepção da pesquisa até a análise dos resultados obtidos. O ponto de partida foi uma análise detalhada sobre a disponibilidade operacional, conforme descrito no Capítulo 2.

A técnica do mapeamento sistemático exige o cumprimento de etapas, que incluem a elaboração de um protocolo de pesquisa, a coleta de dados, a análise de informações e, por fim, a divulgação dos resultados. O protocolo de pesquisa, neste caso, foi cuidadosamente estruturado para garantir a consistência do estudo e a validade dos achados. A seleção das fontes de consulta foi realizada de acordo com as perguntas de mapeamento previamente formuladas, que guiaram as estratégias de busca, os critérios de inclusão e exclusão, e a extração de dados relevantes.

Com base nas perguntas de mapeamento delineadas, palavras-chave foram extraídas para construir a *string* de busca (KEELE *et al.*, 2007). Essa *string* serviu de guia na

identificação de estudos primários que poderiam contribuir para responder às questões de mapeamento, particularmente no que se refere aos fatores logísticos e administrativos que impactam a disponibilidade operacional.

3.2 Protocolo

O mapeamento sistemático teve como um de seus principais objetivos identificar lacunas e novas direções sobre o tema da disponibilidade operacional, especialmente no contexto de sistemas de defesa. Essa abordagem possibilitou a categorização e síntese de estudos que atenderam às questões de mapeamento. O protocolo de pesquisa estabelece diretrizes que guiam o estudo em todas as suas fases.

3.2.1 Questões de Mapeamento

A fim de abordar de forma ampla o tema da disponibilidade operacional, foram formuladas três questões de mapeamento:

- Questão de Mapeamento 1 (QM1): Quais são as principais causas de atrasos logísticos e administrativos na disponibilidade operacional de sistemas de defesa?
- Questão de Mapeamento 2 (QM2): Quais são as principais estratégias e práticas recomendadas para aumentar a disponibilidade operacional de sistemas?
- Questão de Mapeamento 3 (QM3): Como as estratégias e práticas foram avaliadas em estudos anteriores?

Essas perguntas foram formuladas para permitir uma análise profunda dos aspectos que influenciam a disponibilidade operacional. A identificação de atrasos logísticos e administrativos é o primeiro passo para entender os fatores que comprometem a eficácia operacional dos sistemas de defesa. Uma vez identificadas essas causas, torna-se vital conhecer as estratégias já estabelecidas para mitigar esses impactos e, por fim, avaliar como essas estratégias foram validadas em estudos anteriores.

3.2.2 Equipe de Pesquisadores

A equipe responsável pelo mapeamento sistemático é composta por dois pesquisadores fundamentais: o orientador **Prof. Dr. Johnny Cardoso Marques** e o mestrando **Amilton Carlos da Conceição Filho**, que traz uma perspectiva prática ao estudo, com sua experiência em operações de campo. Esse arranjo assegura uma sinergia entre a *expertise*

acadêmica e as aplicações práticas. O orientador fornece uma revisão crítica e orientação estratégica, enquanto o mestrando é responsável por conduzir a pesquisa e redigir as análises.

3.2.3 Seleção de Estudos

A seleção dos estudos que compõem o mapeamento sistemático seguiu um processo rigoroso e sistemático. Foram estabelecidos critérios claros de inclusão e exclusão com o objetivo de assegurar a relevância e a qualidade das pesquisas analisadas.

3.2.3.1 Critérios de Inclusão

Os critérios de inclusão focaram em garantir que apenas trabalhos robustos e diretamente relacionados ao tema fossem considerados. Incluíram-se:

- Trabalhos publicados em periódicos revisados por pares, eventos acadêmicos reconhecidos e livros, desde que abordassem diretamente a disponibilidade operacional e estivessem catalogados nas bases de dados selecionadas; e
- Trabalhos escritos na língua inglesa e portuguesa.

3.2.3.2 Critérios de Exclusão

Os critérios de exclusão foram igualmente detalhados, a fim de garantir que os estudos fossem pertinentes à pesquisa:

- Estudos duplicados, nos quais apenas uma versão foi considerada;
- Trabalhos que não respondem diretamente às questões de mapeamento propostas; e
- Trabalhos que, apesar de referenciados, estavam inacessíveis devido a restrições de acesso ou disponibilidade nas bases de dados selecionadas.

3.2.4 Fontes de Busca

As fontes de busca selecionadas para este mapeamento sistemático foram bases de dados científicas amplamente reconhecidas pela comunidade acadêmica e que oferecem uma vasta coleção de pesquisas de alta relevância sobre a disponibilidade operacional. Foram utilizadas as seguintes plataformas:

- **Elsevier Scopus** (<https://www.scopus.com/>), uma das maiores bases de dados multidisciplinares, que cobre uma ampla gama de publicações sobre engenharia e logística;
- **IEEE Xplore** (<https://ieeexplore.ieee.org/>), focada em publicações de engenharia elétrica e eletrônica, frequentemente relacionada à gestão de sistemas complexos; e
- **ACM Digital Library** (<https://dl.acm.org/>), especializada em computação e áreas correlatas, útil para estudos sobre sistemas de manutenção baseados em tecnologias de informação.

A seleção dessas plataformas garante que a pesquisa abrange tanto as questões operacionais e tecnológicas quanto as administrativas e logísticas que impactam a disponibilidade operacional.

3.2.5 *String* de Busca

A *string* de busca utilizada foi desenvolvida para capturar aspectos críticos da disponibilidade operacional, com um foco nos desafios logísticos e administrativos que afetam diretamente a prontidão e a eficiência dos sistemas. A string aplicada foi: **"operational availability" AND (logistics OR administrative)**, assegurando que os resultados incluíssem estudos relevantes que tratam não apenas da performance técnica dos sistemas, mas também dos fatores externos que afetam sua disponibilidade. No entanto, é importante ressaltar que outras combinações de palavras foram testadas ao longo do processo de pesquisa.

A utilização de diferentes combinações de palavras, como a adição de termos mais específicos ou contextuais, como *"maintenance"*, *"supportability"* ou *"supply chain"*, poderiam ter resultado em uma redução significativa do número de estudos relevantes. Isso ocorre porque termos mais específicos tendem a restringir os resultados da pesquisa, potencialmente excluindo estudos valiosos que, embora não utilizem diretamente essas palavras, ainda tratam de questões relevantes para a disponibilidade operacional no contexto de logística e administração.

Por outro lado, a retirada de qualquer um dos termos da *string* de busca comprometeria o foco da pesquisa, tornando-a muito ampla e, conseqüentemente, incluindo estudos que não tratam diretamente das interações entre a disponibilidade operacional e os desafios logísticos e administrativos. Isso geraria uma dispersão nos resultados, incluindo artigos que focam unicamente em aspectos técnicos, sem considerar os entraves que este estudo pretende analisar.

Portanto, a combinação escolhida de palavras foi a mínima necessária e pertinente ao tema do estudo. Essa decisão garantiu que a pesquisa se mantivesse direcionada ao foco

desejado. Mantendo o equilíbrio entre amplitude e especificidade, foi possível coletar uma base de estudos robusta e relevante, sem comprometer a profundidade e a qualidade da análise.

Essa abordagem permite uma análise geral da disponibilidade operacional, levando em consideração a complexidade das interações entre os processos técnicos e os entraves administrativos e logísticos.

3.2.6 Processo de extração de dados

A extração de dados foi estruturada para garantir que cada estudo selecionado contribuisse diretamente para as questões de mapeamento. Cada artigo foi analisado a partir de seus títulos, resumos e conclusões, com foco em identificar como eles abordavam os fatores que influenciam a disponibilidade operacional, tais como a eficácia das práticas de manutenção, a gestão de recursos logísticos e as estratégias de mitigação de atrasos.

Este processo permitiu uma coleta sistemática de dados quantitativos e qualitativos, assegurando que os estudos selecionados atendessem aos critérios de inclusão e fossem capazes de fornecer ideias sobre os fatores críticos que afetam a disponibilidade.

3.2.7 Estratégia de Síntese e Análise de Dados

Os dados coletados foram organizados em categorias, conforme as questões de mapeamento definidas. Essa categorização permitiu que os estudos fossem analisados em blocos temáticos, facilitando a identificação de padrões e tendências na literatura. As informações foram posteriormente representadas em gráficos e tabelas, o que permitiu uma visualização clara dos principais achados e sua relevância para a melhoria da disponibilidade operacional.

A análise também incluiu a comparação de diferentes abordagens metodológicas e suas respectivas eficácias em mitigar os impactos dos atrasos logísticos e administrativos. Exemplos práticos incluem estudos que analisam a implementação de estratégias de manutenção preditiva, que têm demonstrado resultados positivos na redução do tempo de inatividade ao antecipar falhas antes que ocorram, minimizando os atrasos na reposição de peças críticas.

3.3 Resultados e Discussão Sobre o Mapeamento Sistemático da Literatura

3.3.1 Resultados Obtidos

A aplicação da *string* de busca nas bibliotecas digitais definidas no protocolo resultou em 251 trabalhos: 132 provenientes da base de dados Scopus, 67 da IEEE e 52 da ACM. Esses resultados indicam a abrangência da pesquisa realizada, sendo a Scopus a plataforma com o maior número de estudos retornados, evidenciando sua relevância no campo da disponibilidade operacional. A Tabela 3.1 apresenta o número de estudos retornados por cada uma das plataformas de busca, possibilitando uma análise quantitativa e comparativa dos resultados.

TABELA 3.1 – Número de publicações por base de busca

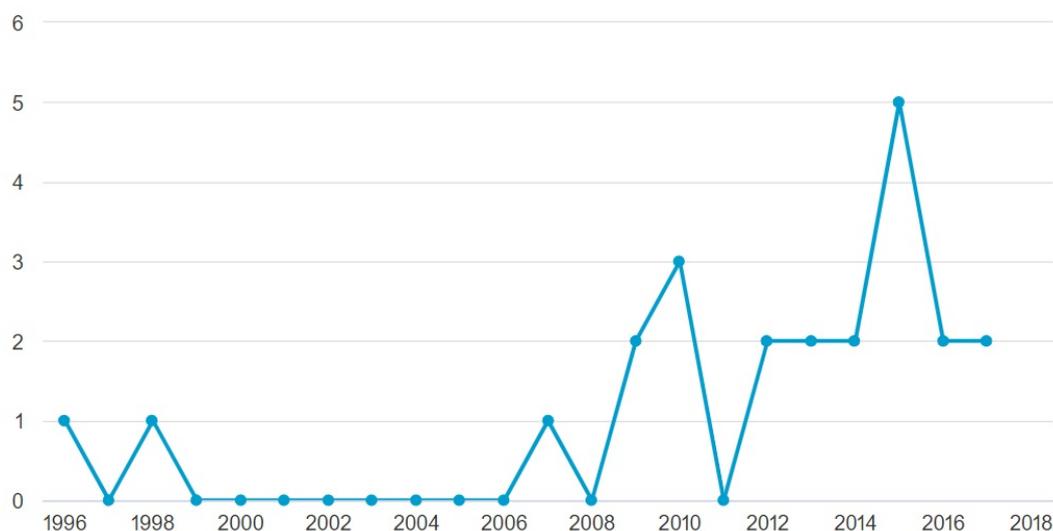
Base de Busca	Resultado
Scopus	132
IEEE	67
ACM	52
Total	251

Fonte: os autores.

Com base nos resultados obtidos, procedeu-se à primeira fase da triagem dos estudos, aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Nesta fase inicial, foi realizada a análise do título, resumo e conclusão dos artigos. O resultado final dessa triagem reduziu o número de estudos de 251 para 23, os quais foram considerados relevantes e adequados às questões de pesquisa formuladas. A Figura 3.1 ilustra a distribuição temporal dos estudos selecionados, demonstrando o crescente interesse na temática de disponibilidade operacional a partir de 2009, o que evidencia um aumento da produção acadêmica na área e a sua relevância atual.

Essa tendência de aumento no número de publicações, principalmente após 2009, reflete uma maior conscientização acerca da importância da disponibilidade operacional, especialmente em setores como defesa e indústria de alta tecnologia.

FIGURA 3.1 – Distribuição dos estudos selecionados por ano de publicação.



Fonte:os autores.

A Tabela 3.2 analisa a contribuição dos países na produção dos estudos selecionados, destacando que os Estados Unidos são os maiores contribuidores, com 12 estudos, seguidos pela China e Itália. Essa predominância dos EUA reflete o alto investimento do país em pesquisa e desenvolvimento em setores estratégicos, como o setor de defesa.

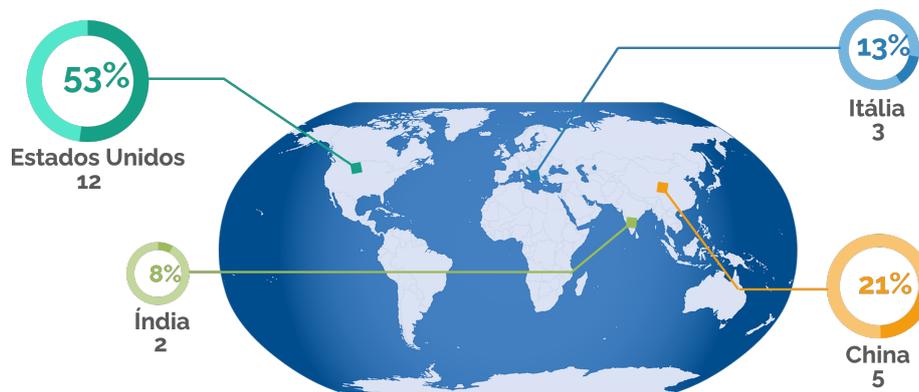
A Figura 3.2 apresenta graficamente a concentração de publicações por países, permitindo uma análise visual da distribuição geográfica das pesquisas, sendo os dados calculados de forma proporcional. Isso se deve ao fato de que, em estudos com múltiplos autores de diferentes instituições, um único estudo pode representar contribuições de mais de um país, dependendo do número de autores e estudos.

TABELA 3.2 – Contribuição dos países nos estudos selecionados

País	Contribuição
Estados Unidos	12
China	5
Itália	3
Índia	2
Canadá	1
Irã	1
Holanda	1
Coreia do Sul	1
Suécia	1
Reino Unido	1

Fonte:os autores.

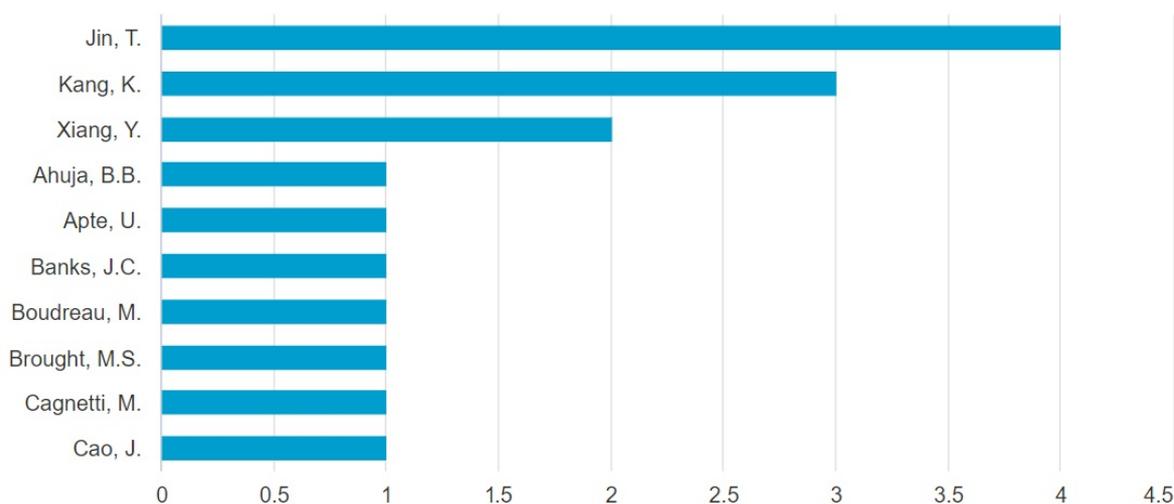
FIGURA 3.2 – Concentração de contribuição nas publicações por países.



Fonte:os autores.

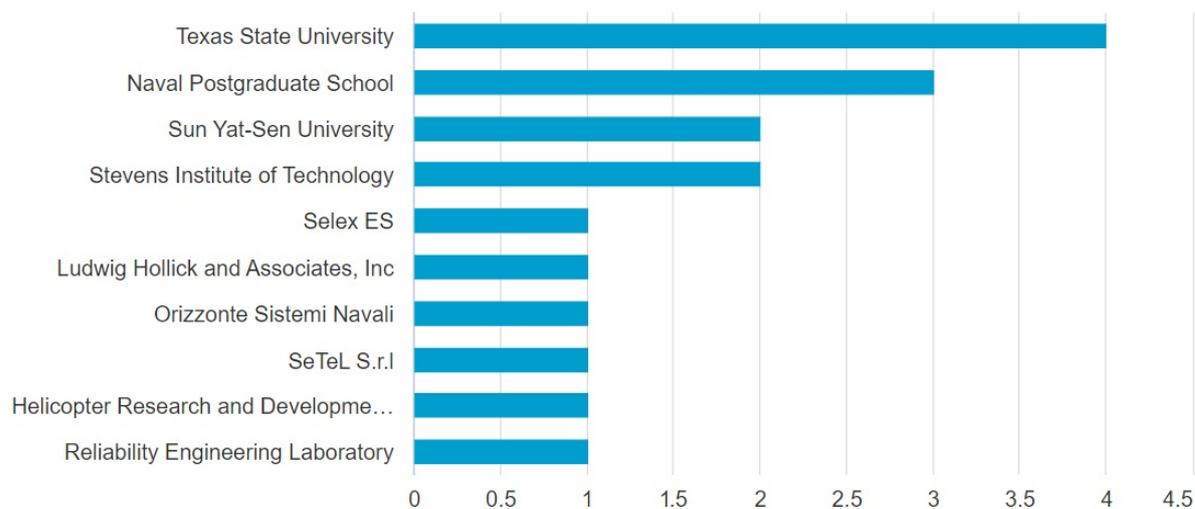
A análise das contribuições por autores e instituições, conforme mostrado nas Figuras 3.3 e 3.4, revela a atuação de 52 autores distintos nos 23 estudos selecionados. A figura 3.3 destaca os 10 autores que mais contribuíram para a pesquisa sobre disponibilidade operacional, o que demonstra uma concentração significativa de conhecimento em um grupo restrito de pesquisadores especializados.

FIGURA 3.3 – Número de contribuições por autores.



Fonte:os autores.

FIGURA 3.4 – Número de instituições com mais contribuição por publicações



Fonte:os autores.

A Tabela 3.3 apresenta os 10 estudos primários mais referenciados na literatura obtidos por esta pesquisa.

TABELA 3.3 – Estudos primários sobre disponibilidade operacional mais citados.

Título do Estudo Primário	Citações
Maximizing system availability through joint decision on component redundancy and spares inventory	82
Optimizing reliability and service parts logistics for a time-varying installed base	70
Improving the computational efficiency of metric-based spares algorithms	23
A Goal Programming Model for Optimizing Reliability, Maintainability and Supportability under Performance Based Logistics	20
Understanding Operational Availability in Performance-Based Logistics and Maintenance Services	13
Cycle Time Reduction for Naval Aviation Depots	13
Improving Autonomic Logistic analysis by including the production compliancy status as initial degradation state	12
Impact of logistics on readiness and life cycle cost: a design of experiments approach	11
Operational Availability (Ao) of Warships a complex problem from concept to in service phase	10
Achieving shared accountability for operational availability attainment	7

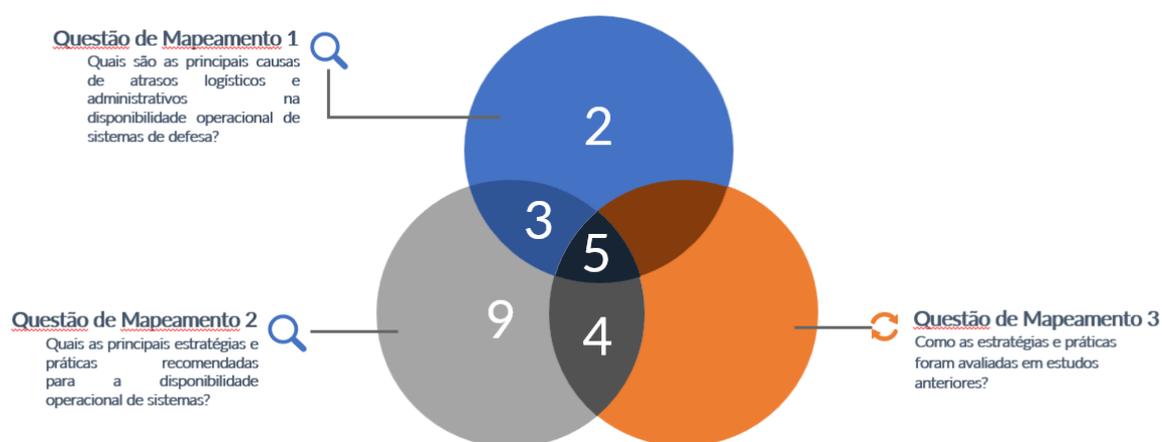
Fonte:os autores.

O estudo mais citado "*Maximizing system availability through joint decision on com-*

ponent redundancy and spares inventory”, segundo a Tabela 3.3, discute o impacto da confiabilidade dos componentes e da eficiência na gestão de redundâncias e peças sobressalentes. Ressalta-se que a disponibilidade operacional não depende unicamente da disponibilidade de peças sobressalentes, mas também de uma estratégia eficaz de redundância. Os dois estudos primários mais citados na literatura são de autoria de Jin, T., o autor mais ativo na área de disponibilidade operacional.

A intersecção das diversas áreas de conhecimento aplicadas ao estudo da disponibilidade operacional dos sistemas de defesa revela uma complexidade inerente às práticas e estratégias de gestão logística e administrativa. Conforme ilustrado pela Figura 3.5, o diagrama de Venn sintetiza a distribuição dos 23 documentos selecionados para análise neste mapeamento sistemático, enfatizando a sobreposição entre as três questões de mapeamento.

FIGURA 3.5 – Distribuição dos documentos por questões de pesquisa



Fonte: os autores

A intersecção entre as três questões de pesquisa, conforme ilustrada pela Figura 3.5, destaca o foco abrangente dos estudos selecionados. A "Questão de Mapeamento 1" explora os obstáculos logísticos e administrativos que afetam negativamente a prontidão operacional, enquanto a "Questão de Mapeamento 2" se concentra nas estratégias e práticas recomendadas para mitigar esses desafios. Já a "Questão de Mapeamento 3" trata da avaliação dessas estratégias, buscando identificar quais métodos e abordagens foram validados em estudos anteriores.

O ponto de convergência, onde os três círculos do diagrama se encontram, contém os estudos mais completos. Esses estudos analisam tanto as causas dos atrasos quanto as estratégias para mitigá-los e também avaliam a eficácia dessas soluções. Essa abordagem multidimensional é fundamental para a formulação de uma compreensão mais aprofundada da disponibilidade operacional e dos desafios associados à gestão logística e administrativa.

Ao analisar os documentos contidos nessas interseções, observa-se que os trabalhos que abordam simultaneamente os três aspectos fornecem ideias valiosas para a criação de modelos de gestão mais eficientes, permitindo a antecipação de falhas e a mitigação de atrasos logísticos e administrativos.

Portanto, a relevância deste mapeamento sistemático estende-se para além da mera identificação de literatura especializada; ele estabelece as bases para uma compreensão integrada das variáveis que influenciam a eficiência operacional dos sistemas de defesa, servindo como um pilar para futuras investigações e para a tomada de decisões estratégicas.

3.3.2 Discussão

O mapeamento sistemático deste estudo analisou detalhadamente as principais causas de atrasos logísticos e administrativos que afetam a disponibilidade operacional de sistemas complexos. Cada trabalho incluído neste estudo foi atribuído um identificador único para facilitar sua localização no Apêndice A. Nesse apêndice, estão catalogados os estudos que fornecem respostas para as questões de mapeamento 1, 2 e 3. O Apêndice B apresenta a síntese dos estudos selecionados. A tabela 3.4 apresenta o mapeamento dos trabalhos por questão de mapeamento.

TABELA 3.4 – Mapeamento dos Trabalhos por Questão de Mapeamento

EP	QM1	QM2	QM3
EP1	X	X	
EP2	X	X	X
EP3		X	
EP4		X	
EP5		X	
EP6	X	X	X
EP7		X	X
EP8		X	
EP9		X	X
EP10		X	
EP11		X	
EP12		X	X
EP13		X	X
EP14		X	
EP15	X		
EP16	X	X	
EP17	X	X	X
EP18	X	X	
EP19	X	X	X
EP20	X		
EP21	X	X	X
EP22		X	
EP23		X	

Fonte:os autores.

3.3.2.1 Principais Fatores de Atrasos Logísticos e Administrativos na Disponibilidade Operacional (QM1)

A revisão da literatura permitiu identificar 10 estudos (EP 1, EP 2, EP 6, EP 15, EP 16, EP 17, EP 18, EP 19, EP 20 e EP 21) que relatam as principais causas desses atrasos que comprometem diretamente a prontidão operacional dos sistemas. Esses fatores são discutidos com base nos achados dos artigos analisados. São eles:

1. **Falta de Habilidades Específicas entre o Pessoal Técnico (LDT):** A ausência de treinamento especializado ou capacitação técnica adequada entre os profissionais responsáveis pela manutenção representa uma das causas mais comuns de atrasos. A falta de qualificação necessária para realizar intervenções rápidas e precisas em equipamentos complexos aumenta o tempo de inatividade.
2. **Escassez ou Ausência de Ferramentas Especiais para Manutenção e Reparos (LDT):** A carência de ferramentas especializadas é outro ponto de falha recorrente. Em operações de manutenção complexas, a ausência de equipamentos adequados para

a realização de reparos compromete o tempo necessário para colocar os sistemas de volta em funcionamento. Essa limitação gera um impacto negativo direto na eficiência do processo de manutenção, prolongando o tempo de inatividade.

3. **Dificuldade na Obtenção de Peças de Reposição (LDT):** A indisponibilidade de peças de reposição em tempo hábil é uma das principais causas de atrasos logísticos. A logística de fornecimento dessas peças, muitas vezes inadequada ou insuficiente, cria gargalos no processo de manutenção, obrigando os sistemas a permanecerem fora de operação por períodos prolongados. Em contratos de defesa, esse problema é especialmente relevante, dado que a prontidão dos sistemas depende diretamente da disponibilidade de componentes de reposição.
4. **Indisponibilidade de Equipamentos de Suporte e Teste (LDT):** Sem os equipamentos de suporte adequados para a realização de diagnósticos e testes, os profissionais de manutenção enfrentam dificuldades para validar reparos e assegurar que o sistema funcione de maneira adequada após a intervenção. A falta desses equipamentos impacta diretamente a capacidade de concluir as tarefas de manutenção com eficiência, estendendo os prazos de reparo e reduzindo a disponibilidade do sistema.
5. **Carência de Mão de Obra Qualificada e Autorizada (LDT):** A insuficiência de profissionais autorizados para realizar manutenções específicas, muitas vezes devido a políticas internas ou à falta de certificação, contribui para a demora nos processos de manutenção. A falta de pessoal qualificado para realizar tarefas essenciais cria dependência de terceiros ou de profissionais externos, o que aumenta os atrasos e reduz a capacidade de resposta a falhas operacionais.
6. **Desafios Associados ao Transporte de Material (LDT):** Problemas logísticos relacionados ao transporte de materiais e equipamentos necessários para a manutenção também são comuns. Atrasos no transporte, causados por fatores externos como restrições de mobilidade ou condições climáticas adversas, podem prolongar consideravelmente o tempo de inatividade de sistemas críticos. Esses desafios logísticos afetam diretamente o ciclo de manutenção e, por conseguinte, a disponibilidade operacional.
7. **Limitações Relacionadas às Instalações Disponíveis para Tarefas de Manutenção (LDT):** Instalações inadequadas ou insuficientes para a realização de manutenções complexas podem se tornar uma barreira significativa para a eficiência operacional. A ausência de infraestrutura apropriada para acomodar reparos em grande escala ou para suportar o uso de ferramentas especializadas aumenta o tempo necessário para a conclusão das atividades de manutenção, gerando atrasos.

8. **Políticas e Procedimentos Organizacionais (ADT):** A combinação de políticas e procedimentos internos, muitas vezes burocráticos e desalinhados com as necessidades operacionais, também pode ser um fator de atraso. Procedimentos ineficientes ou excessivamente rigorosos podem dificultar as tomadas de decisões ágeis e eficazes durante o processo de manutenção, comprometendo a prontidão do sistema.
9. **Ausência de Habilitação Tecnológica (ADT):** A falta de tecnologia apropriada ou de sistemas informatizados que facilitem o acompanhamento e a gestão dos processos de manutenção cria lacunas no controle operacional. A ausência de soluções tecnológicas adequadas para monitorar o desempenho dos sistemas e otimizar a logística de manutenção resulta em ineficiências, prolongando os tempos de resposta e comprometendo a disponibilidade.
10. **Clareza e Tempo na Atribuição de Tarefas (ADT):** A falta de clareza na distribuição e atribuição de tarefas é outro fator que pode gerar atrasos administrativos. Quando não há uma definição clara das responsabilidades e prazos, as equipes de manutenção podem sofrer com falta de coordenação, o que aumenta o tempo de resposta às falhas e prolonga o tempo de inatividade dos sistemas.
11. **Documentação Necessária para Manutenção (ADT):** Por fim, a documentação incompleta ou desatualizada sobre os processos de manutenção e os equipamentos pode dificultar a execução eficiente das tarefas. A falta de documentação adequada limita a capacidade de diagnóstico rápido e preciso, forçando as equipes de manutenção a operarem com incertezas, o que inevitavelmente leva a atrasos no retorno dos sistemas à operação.

Ao analisar esses fatores, é possível correlacioná-los diretamente com os três principais componentes do IPS: Gestão do Ciclo de Vida de Suportabilidade, Gestão Técnica e Gestão de Infraestrutura. Problemas como a indisponibilidade de peças de reposição e equipamentos de teste afetam a gestão de suporte de suprimentos e operações logísticas. A carência de mão de obra qualificada e de instalações adequadas reflete falhas na gestão de infraestrutura e suporte de treinamento, enquanto os desafios relacionados à documentação impactam os dados técnicos.

É fundamental reconhecer que qualquer lacuna nos fatores administrativos e logísticos identificados pode reduzir significativamente a disponibilidade operacional dos sistemas de defesa. Deficiências em qualquer uma dessas áreas podem gerar efeitos cascata, prejudicando a prontidão operacional e a capacidade de resposta das forças de defesa. Portanto, a atenção a esses detalhes administrativos e logísticos é tão vital quanto à gestão logística para garantir a máxima eficiência e prontidão dos sistemas envolvidos.

3.3.2.2 Quais são as principais estratégias e práticas recomendadas para a disponibilidade operacional de sistemas? (QM2)

A partir da análise dos 23 artigos selecionados, verificou-se que 21 trabalhos (EP 1, EP 2, EP 3, EP 4, EP 5, EP 6, EP 7, EP 8, EP 9, EP 10, EP 11, EP 12, EP 13, EP 14, EP 16, EP 17, EP 18, EP 19, EP 21, EP 22, EP 23) abordam estratégias fundamentais para aprimorar a disponibilidade operacional em sistemas de defesa. Estas estratégias são essenciais para assegurar a continuidade e a eficiência dos serviços e incluem:

1. **Manutenção baseada no tempo (TBM):** Manutenção baseada em intervenções programadas após intervalos regulares. Segundo Ding *et al.* (2017), essa abordagem, também conhecida como "manutenção preventiva", consiste em remover ou reparar componentes após um período predeterminado, independentemente das condições reais do componente. Embora seja eficaz para prevenir falhas catastróficas, ela pode resultar em desperdício de vida útil dos componentes, visto que a peça pode não estar em seu limite de desgaste no momento da substituição. Esse tipo de manutenção é comumente usado em equipamentos cuja falha pode comprometer a segurança operacional.
2. **Manutenção baseada na condição (CBM):** Diferentemente da TBM, a CBM é realizada apenas quando há evidências específicas de que o sistema necessita de manutenção. Segundo Banks *et al.* (2014), essa evidência é coletada por meio de sistemas de diagnóstico ou prognóstico, que monitoram continuamente a saúde do equipamento. Em plataformas complexas, como as utilizadas pelo Exército dos Estados Unidos, sensores monitoram parâmetros como vibração, temperatura e tensão elétrica para detectar possíveis falhas antes que ocorram, aumentando assim a disponibilidade operacional. A CBM permite que a manutenção seja planejada com base na necessidade real, evitando intervenções desnecessárias e garantindo maior eficiência nos processos de reparo e substituição de componentes.
3. **Armazenamento Estratégico de Peças Sobressalentes:** A maior parte dos estudos destaca a importância de um armazenamento estratégico de peças sobressalentes. A disponibilidade de peças de reposição em locais estratégicos permite que reparos sejam feitos de forma rápida, evitando longos períodos de inatividade enquanto se aguarda a chegada de componentes. Essa prática é particularmente relevante em sistemas de defesa, onde o tempo de resposta é crucial para manter a prontidão operacional. Um exemplo prático pode ser encontrado na gestão de frotas militares, onde a descentralização de estoques de peças críticas garante reparos rápidos em diversas localizações geográficas.
4. **Redundância de Componentes:** A redundância em sistemas complexos é uma es-

tratégia amplamente utilizada para maximizar a disponibilidade operacional. Conforme descrito no artigo de Xie *et al.* (2014), a redundância envolve a alocação de componentes adicionais para garantir que, mesmo que alguns componentes falhem, o sistema como um todo continue a operar. Essa estratégia é particularmente eficaz em sistemas reparáveis, onde a disponibilidade operacional depende da confiabilidade dos componentes, do nível de redundância e da disponibilidade de peças sobressalentes.

5. **Contratos Baseados em Desempenho (PBC):** Os Contratos Baseados em Desempenho (PBC) surgiram como uma alternativa aos contratos tradicionais de manutenção e logística, oferecendo um modelo de contratação que prioriza os resultados operacionais em vez da simples transação de serviços e peças. De acordo com Jin *et al.* (2013), os PBC são amplamente adotados em setores como defesa, aviação e energia, onde o desempenho dos sistemas é crítico para garantir a continuidade das operações. Ao contrário dos contratos baseados em material (MBC), onde o prestador de serviço é pago por cada intervenção realizada, os PBC incentivam a melhoria contínua da confiabilidade do sistema, pois o prestador de serviços é remunerado com base nos níveis de disponibilidade operacional atingidos, em vez da quantidade de manutenção realizada ou peças fornecidas.
6. **Simulação de Cenários:** A simulação é uma ferramenta essencial para identificar gargalos no ciclo de reparo e propor melhorias nos processos de manutenção, como abordado no estudo de Kang *et al.* (1998). Através da modelagem de cenários, a Marinha dos Estados Unidos foi capaz de otimizar o tempo de ciclo de reparo de aeronaves, reduzindo significativamente o tempo de espera de peças sobressalentes e aprimorando a prontidão operacional.

Essas estratégias, aplicadas em conjunto, têm o potencial de transformar significativamente a gestão da manutenção e a disponibilidade operacional dos sistemas de defesa, garantindo maior eficiência, redução de custos e maior confiabilidade.

3.3.2.3 Como as estratégias e práticas foram avaliadas em estudos anteriores? (QM3)

A pesquisa na área de engenharia logística tem demonstrado que os atrasos afetam diretamente a capacidade de um sistema de manter-se operacional, exigindo, portanto, uma abordagem sistemática para sua mitigação. A aplicação da engenharia de sistemas, com foco na especificação rigorosa dos requisitos de disponibilidade operacional, surge como uma estratégia essencial. Esta abordagem permite a alocação precisa dos requisitos de disponibilidade a componentes e serviços de suporte críticos, assegurando que possíveis fontes de atraso sejam identificadas e neutralizadas desde as fases iniciais do projeto.

De acordo com Hollick (2009), a integração abrangente da engenharia de sistemas, não apenas antecipa, mas também reduz os atrasos logísticos e administrativos, melhorando substancialmente a disponibilidade operacional dos sistemas. A eficácia dessa abordagem se traduz em ganhos operacionais tangíveis, evidenciando uma correlação direta entre a redução de atrasos e a maximização da disponibilidade operacional. Esse conceito pode ser aplicado a sistemas industriais complexos, como plataformas *offshore*, onde a previsibilidade e a prevenção de atrasos são fundamentais para garantir que os sistemas permaneçam operacionais, mesmo em condições adversas.

Entre as estratégias avaliadas em estudos anteriores para melhorar a disponibilidade operacional de sistemas de defesa, destaca-se a aplicação de modelos de simulação e análise experimental. No estudo de Kang e McDonald (2010), um modelo robusto foi desenvolvido para estimar a disponibilidade operacional de sistemas de armas, complementado por uma análise dos custos do ciclo de vida. A simulação revelou fatores logísticos críticos que influenciam diretamente a prontidão militar, como o tempo de resposta logística e os níveis de estoque de peças sobressalentes. Esses elementos foram identificados como fundamentais não apenas para aumentar a disponibilidade operacional, mas também para otimizar os custos associados.

Essa abordagem de simulação pode ser ilustrada com um exemplo do setor automotivo, onde a otimização dos estoques de componentes críticos (como motores e transmissões) pode reduzir significativamente o tempo de inatividade de frotas de veículos. Ao prever a necessidade de peças e ajustar o estoque em função do uso real, as empresas podem evitar tempos de espera desnecessários e reduzir o custo total da operação.

No estudo de Xie *et al.* (2014), foi analisada a influência da alocação de redundância de componentes e da disponibilidade de peças sobressalentes em sistemas reparáveis. Utilizando modelos matemáticos, o estudo demonstrou que a gestão eficaz da redundância, em conjunto com uma logística eficiente, é vital para mitigar os impactos negativos dos atrasos logísticos e administrativos. Essa abordagem integrada não só melhora a eficiência operacional, como também minimiza o tempo de inatividade, um dos principais desafios na manutenção da disponibilidade operacional em ambientes complexos, como instalações industriais ou infraestruturas de defesa.

Já o estudo realizado por Jin e Tian (2012) evidencia a eficácia dos contratos baseados em desempenho (PBC) como uma estratégia para a mitigação dos impactos dos atrasos administrativos e logísticos na disponibilidade operacional. Ao aplicar modelos de otimização, os autores exploram como políticas de estoque estruturadas em múltiplas fases podem minimizar os custos totais do ciclo de vida dos sistemas, abrangendo desde o design até a manutenção, ao mesmo tempo em que mitigam os atrasos associados à logística de suprimentos. A pesquisa demonstra que, ao integrar uma política de estoque adaptativa com o aumento da confiabilidade do sistema, é possível não apenas reduzir significati-

vamente os tempos de inatividade, mas também diminuir os custos relacionados. Esta abordagem é especialmente relevante no contexto dos atrasos administrativos e logísticos, pois a implementação de PBCs e políticas de estoque adaptativas permite uma resposta mais eficiente às interrupções e ineficiências que frequentemente afetam a disponibilidade operacional.

No contexto da otimização da disponibilidade operacional, o estudo realizado por Ward *et al.* (2015) destaca a implementação de algoritmos de prognóstico como uma estratégia eficaz para a mitigação dos impactos dos atrasos logísticos e administrativos. Esses algoritmos, ao preverem com precisão o tempo de vida útil restante de componentes críticos, permitem a requisição antecipada de peças de reposição, prevenindo falhas inesperadas e, conseqüentemente, minimizando os atrasos logísticos e administrativos que comprometem a disponibilidade operacional. Utilizando uma análise baseada em simulação, o estudo demonstra que a adoção dessa tecnologia resulta em ganhos substanciais de disponibilidade operacional. Adicionalmente, os autores propõem dois indicadores inovadores, a Redução Relativa do Tempo de Inatividade (RDR) e o Ganho Relativo de Disponibilidade (RAG), que permitem quantificar os benefícios dos algoritmos de prognóstico tanto em termos táticos quanto estratégicos.

O estudo de Jin *et al.* (2013) aborda a disponibilidade operacional no contexto dos contratos de logística baseados em desempenho, destacando estratégias essenciais para a mitigação dos atrasos logísticos e administrativos. Os autores demonstram que a disponibilidade operacional não depende exclusivamente da disponibilidade de peças sobressalentes, mas sim de uma gestão integrada que inclui fatores como confiabilidade inerente, taxa de uso, política de manutenção, tamanho da frota e tempos de ciclo de reparo e recondicionamento. Essa visão desafia a crença convencional de que a disponibilidade de peças é o fator dominante, mostrando que uma alta disponibilidade operacional pode ser alcançada mesmo com níveis moderados ou baixos de estoque de peças sobressalentes.

O estudo de Huang *et al.* (2016), intitulado "Modeling of Operational Availability of Offshore Wind Turbines", propõe estratégias fundamentais para a mitigação dos impactos dos atrasos logísticos e administrativos na disponibilidade operacional. Os autores desenvolveram um modelo matemático que integra os efeitos das condições meteorológicas adversas e dos desafios logísticos, como a falta de embarcações de transferência para manutenção, demonstrando como esses fatores contribuem para o aumento do tempo de inatividade das turbinas eólicas *offshore*. O estudo evidencia que, em grandes fazendas eólicas *offshore*, os desafios logísticos não apenas limitam a eficiência das operações de manutenção, mas também são uma das principais causas de indisponibilidade das turbinas.

No contexto de sistemas de defesa, Song e Yang (2015) apresentam uma abordagem para minimizar atrasos logísticos e administrativos, visando aumentar a disponibilidade

operacional de equipamentos em navios de guerra. Utilizando modelagem dinâmica, os autores examinam a eficiência na alocação de peças de reposição e na aplicação de estratégias de suporte, identificando fatores críticos que influenciam tanto a disponibilidade quanto os custos relacionados ao suporte. Uma das soluções destacadas é o uso de técnicas como canibalização e fornecimento lateral de peças entre as embarcações, que se mostram eficazes na mitigação dos efeitos dos atrasos logísticos, especialmente em cenários com limitações de recursos.

O estudo conduzido por Kang *et al.* (1998) apresenta estratégias eficazes para a minimização dos atrasos logísticos e administrativos, com foco na otimização da disponibilidade operacional de aeronaves da Marinha dos Estados Unidos. Utilizando modelos de simulação, os autores demonstram como a redução do tempo de ciclo nos processos de reparo pode ser uma abordagem crucial para melhorar a disponibilidade operacional. A pesquisa revela que o aumento dos níveis de estoque de peças de reposição de baixo custo, combinado com ajustes no processo de reparo, pode reduzir significativamente os tempos de ciclo, resultando em maior prontidão e eficiência operacional.

Esses estudos demonstram que a avaliação de estratégias como contratos baseados em desempenho, redundância de componentes e simulação de cenários, além da aplicação de algoritmos de prognóstico, são ferramentas eficazes para mitigar os desafios que afetam a disponibilidade operacional. A análise dos casos anteriores mostra que a aplicação de métodos preventivos e a integração de soluções tecnológicas adequadas têm potencial para aumentar a eficiência, reduzir custos e melhorar significativamente a prontidão operacional dos sistemas.

Os estudos anteriores avaliaram a eficácia das estratégias e práticas propostas através de uma variedade de métodos, incluindo a análise de casos específicos, a simulação de cenários e a aplicação de métricas de desempenho. Estes trabalhos contribuem significativamente para a compreensão de como uma gestão eficaz e integrada pode otimizar a disponibilidade operacional e a prontidão dos sistemas.

3.3.3 Considerações

A busca por literatura especializada constitui uma etapa essencial na pesquisa acadêmica, uma vez que os resultados obtidos não apenas fornecem um panorama sobre o estado atual do campo de estudo, mas também indicam lacunas e oportunidades de investigação. No presente estudo, o foco recaiu sobre a disponibilidade operacional e os desafios logísticos e administrativos a ela associados. A aplicação de uma *string* de busca cuidadosamente elaborada, envolvendo as plataformas digitais Scopus, IEEE e ACM, resultou inicialmente em um total de 251 trabalhos. Esse número reflete a relevância do tema na comunidade acadêmica, evidenciando o crescente interesse em torno da otimização de

processos logísticos e administrativos.

Entretanto, ao aplicar os critérios de inclusão e exclusão, que foram delineados no protocolo de pesquisa, o número de trabalhos considerados relevantes para a análise final foi reduzido para 23. Esse processo de triagem, que envolveu a avaliação de títulos, resumos e conclusões, foi necessário para garantir que os estudos selecionados estivessem diretamente relacionados aos objetivos deste mapeamento sistemático. A redução substancial no número de estudos destaca a existência de uma lacuna significativa no corpo da literatura existente, particularmente no que diz respeito a investigações de alta qualidade que tratem especificamente dos atrasos logísticos e administrativos.

Essa lacuna sugere que, embora o tema da disponibilidade operacional tenha sido amplamente explorado sob diversos ângulos, há uma carência de estudos que se aprofundem nas relações entre os fatores administrativos e logísticos. Tais fatores, como a falta de coordenação na cadeia de suprimentos ou a demora na obtenção de peças sobressalentes, frequentemente resultam em impactos diretos na disponibilidade dos sistemas. No contexto de defesa, por exemplo, a prontidão operacional de um sistema pode ser severamente comprometida devido a atrasos logísticos causados por ineficiências na cadeia de fornecimento ou na gestão de recursos.

Essa constatação abre espaço para futuras investigações que possam abordar esses entraves. Pesquisas que explorem, por exemplo, o uso de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial para otimização de cadeias de suprimento, ou a aplicação de sistemas preditivos de manutenção, poderiam contribuir significativamente para a mitigação dos efeitos negativos de atrasos logísticos e administrativos. Estudos que combinem abordagens quantitativas, como modelos de simulação, com dados empíricos, também se mostram promissores para preencher essa lacuna, oferecendo soluções mais robustas e aplicáveis para o setor.

É importante ressaltar que o número reduzido de estudos selecionados para análise não desmerece a relevância da pesquisa realizada. Pelo contrário, evidencia a urgência de se investigar mais profundamente as questões associadas à disponibilidade operacional, destacando a relevância de abordagens interdisciplinares que integrem aspectos logísticos, administrativos e tecnológicos. Nesse sentido, os estudos selecionados contribuem para a construção de uma base sólida de conhecimento, fornecendo ideias valiosas sobre como a eficiência logística e administrativa pode ser aprimorada para maximizar a disponibilidade dos sistemas.

Por fim, este mapeamento sistemático não apenas delinea o estado atual do campo, mas também aponta para a necessidade de avanços na compreensão das interações entre logística e administração no contexto da disponibilidade operacional. A identificação dessas lacunas representa uma oportunidade para a realização de novas pesquisas, que

poderão contribuir com soluções práticas e inovadoras para os desafios enfrentados por setores que dependem de alta disponibilidade operacional, como a defesa e aviação.

4 Método

Este capítulo detalha o processo metodológico adotado para a criação de um novo indicador de desempenho, denominado Índice de Impacto de Atrasos (IIA), cuja finalidade é mensurar de maneira precisa o impacto dos atrasos administrativos e logísticos no tempo de inatividade dos sistemas de manutenção. O IIA foi concebido para ser um complemento à fórmula tradicional de Disponibilidade Operacional, que, embora amplamente utilizada, não contempla de forma específica os efeitos dos atrasos causados por questões administrativas e logísticas. Assim, este novo indicador tem o propósito de fornecer uma análise mais detalhada e direcionada das causas subjacentes que afetam a disponibilidade operacional, oferecendo uma ferramenta mais robusta para gestores e engenheiros no planejamento e otimização de processos de manutenção. Após a concepção do IIA, o próximo passo é sua integração à fórmula de Disponibilidade Operacional. Com a inclusão do IIA, busca-se proporcionar uma visão mais abrangente e realista do desempenho dos sistemas, incorporando de forma clara o impacto dos atrasos administrativos e logísticos. Essa reformulação permitirá a identificação precisa dos pontos críticos que exigem intervenção, facilitando a redução dos tempos de inatividade e promovendo uma melhoria significativa na eficiência global dos processos de manutenção.

4.1 Índice de Impacto de Atrasos

O Índice de Impacto de Atrasos (IIA) é um indicador desenvolvido para quantificar o impacto dos atrasos administrativos e logísticos no tempo total de inatividade de sistemas complexos, especialmente em ambientes de defesa. Este indicador visa identificar e monitorar as áreas críticas onde os atrasos afetam diretamente a disponibilidade operacional, permitindo a implementação de melhorias estratégicas que otimizem os processos de manutenção e suporte logístico. A formulação do IIA segue as diretrizes estabelecidas pela norma BS EN 15341 Institution (2007) e pela especificação SX000i Aerospace e Defence (2022), que orientam a criação de KPIs eficazes e específicos para a gestão de operações de manutenção e suporte.

O desenvolvimento do IIA se alinha às melhores práticas globais para medição de de-

sempenho, utilizando como base os conceitos de KPIs. Esses indicadores são fundamentais para avaliar a eficiência de processos críticos e identificar oportunidades de melhoria contínua. O IIA não apenas fornece uma visão detalhada do impacto dos atrasos, mas também serve como uma ferramenta de gestão estratégica, permitindo que as organizações de defesa ajustem seus processos de manutenção e suporte de forma a maximizar a disponibilidade de seus sistemas. O IIA foi estruturado para ser uma métrica específica, mensurável, atingível, relevante e tempestiva (SMART), garantindo que os resultados gerados sejam aplicáveis diretamente na tomada de decisões.

4.1.1 Definição dos Componentes Principais

Os principais componentes que compõem o Índice de Impacto de Atrasos (IIA) são:

- **Atrasos Administrativos (ADT):** Processos burocráticos, como aprovações de ordens de serviço, documentação, autorizações e decisões internas que retardam o início ou a conclusão das atividades de manutenção.
- **Atrasos Logísticos (LDT):** Problemas relacionados à logística, como o fornecimento de peças, ferramentas, transporte de materiais e suporte técnico que retardam o tempo de manutenção.
- **Tempo Médio de Inatividade (MDT):** Tempo em que um sistema, equipamento ou processo permanece inativo devido a falhas ou necessidades de manutenção.

4.1.2 Estabelecimento dos Critérios SMART

Para garantir a robustez do IIA como KPI, ele foi desenvolvido de acordo com os critérios SMART:

- ***Specific (Específico):*** O IIA foi projetado para medir diretamente o impacto dos atrasos (ADT e LDT) no tempo de inatividade operacional. A métrica é clara e focada, definindo claramente como cada tipo de atraso será mensurado.
- ***Measurable (Mensurável):*** O IIA será expresso em termos percentuais do tempo médio de inatividade (MDT), permitindo fácil comparação ao longo do tempo e entre diferentes operações.
- ***Attainable (Alcançável):*** O IIA é atingível dentro dos limites operacionais e tecnológicos existentes. A métrica pode ser coletada e aplicada por meio de métodos existentes de coleta de dados em sistemas de manutenção.

- **Realistic (Realista):** O KPI foi projetado para ser utilizado dentro do ambiente real de operações de defesa e logística, sendo possível medir e implementar melhorias sem custos excessivos.
- **Timely (Tempestivo):** O IIA pode ser aplicado regularmente em intervalos definidos (mensais, trimestrais, semestrais ou anuais), com base nos dados de manutenção coletados no período.

4.1.3 Desenvolvimento da Fórmula do IIA

O Índice de Impacto de Atrasos (IIA) é calculado com base na proporção dos atrasos administrativos (ADT) e logísticos (LDT) em relação ao tempo médio de inatividade (MDT). A fórmula proposta é apresentada na Equação 4.1 e pode ser expandida na Equação 4.2 :

$$IIA = \frac{ADT + LDT}{MDT} \quad (4.1)$$

$$IIA = \frac{ADT1 + \dots + ADT4 + LDT1 + \dots + LDT7}{MDT} \quad (4.2)$$

Onde todas as variáveis são medidas em horas:

- ADT: Tempo Médio de Atrasos Administrativos.
- LDT: Tempo Médio de Atrasos Logísticos.
- MDT: Tempo Médio de Inatividade.
- ADT1: Tempo Médio de Atrasos devido a Políticas e Procedimentos Organizacionais.
- ADT2: Tempo Médio de Atrasos devido à Ausência de Habilitação Tecnológica.
- ADT3: Tempo Médio de Atrasos devido à Clareza e Tempo na Atribuição de Tarefas.
- ADT4: Tempo Médio de Atrasos devido à Ausência de Documentação Necessária para Manutenção.
- LDT1: Tempo Médio de Atrasos devido à Falta de Habilidades Específicas entre o Pessoal Técnico.
- LDT2: Tempo Médio de Atrasos devido à Escassez ou Ausência de Ferramentas Especiais para Manutenção e Reparos.

- LDT3: Tempo Médio de Atrasos devido à Dificuldade na Obtenção de Peças de Reposição.
- LDT4: Tempo Médio de Atrasos devido à Indisponibilidade de Equipamentos de Suporte e Teste.
- LDT5: Tempo Médio de Atrasos devido à Carência de Mão de Obra Qualificada e Autorizada.
- LDT6: Tempo Médio de Atrasos devido a Desafios Associados ao Transporte de Material.
- LDT7: Tempo Médio de Atrasos devido a Limitações Relacionadas às Instalações Disponíveis para Tarefas de Manutenção.

Este cálculo proporciona uma métrica objetiva, expressando o impacto dos atrasos como uma porcentagem do tempo total de inatividade. Quanto maior o IIA, maior o impacto dos atrasos na disponibilidade operacional.

4.1.4 Enquadramento do IIA nas Categorias de KPI

Com base nas diretrizes das documentações mencionadas, o Índice de Impacto de Atrasos (IIA) pode ser enquadrado em duas categorias principais de KPI:

1. **KPIs de Desempenho Técnico (Categoria da Norma BS EN 15341):** O IIA mede diretamente o impacto dos atrasos administrativos e logísticos no tempo de inatividade dos sistemas, o que está diretamente relacionado ao desempenho técnico dos sistemas de defesa. A norma recomenda a criação de KPIs que quantifiquem a eficiência técnica das operações de manutenção, e o IIA atende a essa exigência ao fornecer uma visão clara de como os atrasos afetam a disponibilidade operacional.
2. **KPIs de Suporte ao Ciclo de Vida (Categoria da Especificação SX000i):** De acordo com a SX000i, o IIA também se enquadra na categoria de KPIs voltados ao suporte ao ciclo de vida do produto, pois mede a efetividade do suporte logístico e administrativo fornecido durante a operação dos sistemas. Ao avaliar continuamente os impactos de atrasos e possibilitar a implementação de melhorias, o IIA contribui para a sustentabilidade operacional e a otimização do ciclo de vida dos sistemas.

Dessa forma, o IIA cumpre com os requisitos estabelecidos pelas documentações internacionais, ao mesmo tempo em que se posiciona como um indicador crítico para melhorar a eficiência da manutenção e a disponibilidade operacional dos sistemas de defesa. Ao

alinhar-se às categorias de KPI identificadas na BS EN 15341 e na SX000i, o IIA se consolida como uma ferramenta de gestão estratégica, focada em mitigar atrasos e garantir a prontidão operacional dos sistemas.

4.1.5 Coleta e Validação dos Dados

A coleta de dados para o cálculo do IIA pode ser realizada utilizando os seguintes métodos:

- **Logs de manutenção:** Registros automáticos de tempo, extraídos de sistemas de gestão de manutenção assistida por computador (CMMS).
- **Relatórios de operação:** Documentação manual dos tempos de atraso em ordens de serviço e atividades logísticas.
- **Questionários:** Utilizados para coletar informações de operadores, técnicos e gestores sobre os principais fatores de atraso em cada manutenção.

Neste estudo, o questionário foi adotado como o principal método de coleta de dados, devido à sua eficácia em obter informações detalhadas e estruturadas diretamente dos participantes. Esta ferramenta permite a coleta de percepções, experiências e dados quantitativos de maneira sistemática, garantindo que as informações sejam recolhidas de forma objetiva e padronizada, facilitando a análise e interpretação dos resultados. Além disso, o uso do questionário oferece uma abordagem eficiente para alcançar um número significativo de respondentes, assegurando uma amostra representativa para o desenvolvimento do IIA. O modelo de questionário utilizado neste estudo é apresentado no Apêndice C.

4.1.6 Justificativa da Escolha do Questionário

O uso de questionários como método de coleta de dados neste estudo é justificado por sua versatilidade e eficácia na obtenção de informações detalhadas sobre as percepções e experiências dos profissionais envolvidos em operações de manutenção. Além disso, os questionários são amplamente reconhecidos por sua capacidade de permitir a coleta de dados quantitativos e qualitativos de forma rápida e sistemática, facilitando a análise posterior. No contexto deste trabalho, em que o objetivo é avaliar os fatores que influenciam os Atrasos Administrativos e Logísticos, o questionário se torna uma ferramenta essencial para garantir que os dados sejam coletados de forma estruturada e padronizada, permitindo comparações e interpretações estatísticas.

No entanto, é importante destacar que, por se tratar de uma análise focada em valores absolutos, como horas, a coleta de dados precisos representou um desafio significativo. A mensuração direta do impacto de fatores específicos em termos de horas, seria inviável por meio de um questionário, uma vez que os respondentes, caso não tivessem esses dados devidamente documentados, provavelmente informariam estimativas que poderiam prejudicar a qualidade dos dados. Diante disso, foi adotada uma abordagem alternativa, utilizando uma escala de avaliação de impacto. Essa escala permitiu que os respondentes classificassem o impacto de cada fator em uma escala de um a cinco, onde um representa um impacto muito baixo e cinco representa um impacto muito alto. O uso dessa escala facilitou o processo de resposta, permitindo que os participantes fornecessem uma percepção mais clara e objetiva do impacto de fatores administrativos e logísticos sobre o tempo das operações de manutenção, mesmo sem os dados exatos documentados.

4.1.7 Desenvolvimento do Questionário

O questionário foi elaborado, levando em consideração a clareza e a objetividade das perguntas. Cada seção do questionário foi desenvolvida para cobrir diferentes aspectos dos atrasos nas operações de manutenção, sendo dividido em blocos que facilitam a avaliação individual dos Atrasos Administrativos e Logísticos. As questões foram estruturadas de maneira a serem facilmente compreendidas pelos participantes, reduzindo ambiguidades e garantindo a obtenção de respostas precisas e consistentes.

Embora o questionário utilize uma escala de avaliação de impacto de um a cinco, que é uma medida qualitativa, sua aplicação permite a transformação dos dados em uma abordagem quantitativa para a análise, proporcionando uma visão clara do impacto dos atrasos. Além disso, essa escala foi expandida para incluir o impacto econômico, permitindo que os respondentes avaliassem tanto a influência do atraso no tempo de inatividade quanto nos custos operacionais. Dessa forma, foi possível correlacionar os impactos operacionais com os custos financeiros, oferecendo uma visão integrada do problema.

4.1.8 Estratégia de Coleta de Dados

Para maximizar a abrangência e representatividade dos dados, a coleta foi realizada de forma online, utilizando plataformas especializadas em pesquisas. A escolha do ambiente virtual facilitou o acesso dos profissionais de manutenção distribuídos em diferentes setores e localizações geográficas, garantindo assim uma amostra diversificada. Os convites para participação foram enviados por e-mail e redes profissionais, visando alcançar um público-alvo específico e relevante para o estudo. Além disso, a coleta online proporcionou rapidez na obtenção dos dados e permitiu a implementação de controles que minimizaram erros e

inconsistências nas respostas.

4.1.9 Tratamento e Análise dos Dados

Após a coleta, os dados foram processados e analisados estatisticamente. Foram realizadas análises estatísticas para calcular o Índice de Impacto de Atraso (IIA) com base nas informações relacionadas ao ADT e LDT.

Um aspecto desta análise foi a inclusão da relação entre o impacto dos atrasos e os custos operacionais. Essa investigação adicional permitiu compreender como os atrasos influenciam não apenas o tempo de inatividade, mas também os custos totais das operações de manutenção. A partir dos dados coletados, foi possível correlacionar o impacto dos atrasos com os custos financeiros, o que proporcionou uma análise mais robusta e relevante para o gerenciamento de manutenção.

4.1.10 Ética na Pesquisa

Em conformidade com as melhores práticas de pesquisa, todas as respostas dos participantes foram tratadas com total confidencialidade e anonimato. Os indivíduos participantes foram informados sobre o objetivo da pesquisa e o uso dos dados coletados. Além disso, o consentimento informado foi obtido previamente, assegurando que todos os participantes estivessem cientes da natureza voluntária de sua participação e dos benefícios potenciais do estudo.

4.2 Novo Modelo de Indicador - Cálculo Alternativo da Disponibilidade Operacional com Integração do IIA

4.2.1 Incorporação do IIA no Cálculo de Ao

A inclusão do IIA no cálculo de Ao é um avanço necessário, visto que o IIA mede diretamente a proporção dos atrasos administrativos e logísticos no tempo médio de inatividade (MDT). No cálculo tradicional, MDT engloba tanto o Tempo Total de manutenção Ativa quanto os atrasos relacionados a processos administrativos e logísticos, sem discriminar adequadamente a origem desses atrasos. O cálculo alternativo que integra o IIA é representado pela Equação 4.3.

$$Ao(ca) = \frac{MTBM}{MTBM + AMT + (IIA \times MDT)} \quad (4.3)$$

Essa fórmula reflete o impacto proporcional dos atrasos administrativos e logísticos no tempo de inatividade total. Ao substituir os componentes de ADT e LDT pelo produto de IIA e MDT, o cálculo se torna mais preciso, oferecendo uma avaliação realista da disponibilidade operacional.

A grande vantagem desta abordagem é que o cálculo alternativo agora leva em consideração o peso dos atrasos dentro do período total de inatividade, tornando o indicador de disponibilidade mais sensível às interrupções operacionais que não são diretamente associadas a falhas técnicas, mas que afetam significativamente a produtividade.

A chave para a reformulação é a substituição direta dos componentes de ADT e LDT na fórmula original de Ao pelo produto de IIA e MDT. Isso permite que o impacto proporcional dos atrasos seja diretamente refletido no cálculo de Ao, oferecendo uma visão mais precisa da disponibilidade real.

Esse cálculo alternativo é especialmente útil em cenários onde atrasos não programados exercem um papel significativo no desempenho dos sistemas. Ao ajustar o cálculo com base no IIA, as organizações podem obter uma visão mais detalhada do impacto desses atrasos e desenvolver estratégias mais direcionadas para mitigá-los.

4.2.2 Justificativa e Aplicação do Cálculo Alternativo para Disponibilidade Operacional

O cálculo alternativo de Disponibilidade Operacional representa um avanço significativo na avaliação da disponibilidade operacional de sistemas. Ao contrário do modelo tradicional, o qual trata o tempo médio de inatividade (MDT) como uma única métrica agregada, o novo cálculo discrimina entre os diferentes fatores que contribuem para o tempo de inatividade, especificamente atrasos logísticos (LDT) e administrativos (ADT). Esse refinamento permite uma quantificação mais clara dos impactos específicos de cada atraso, proporcionando uma visão mais detalhada e precisa dos fatores que prolongam o tempo em que os sistemas permanecem fora de operação. O IIA isola os efeitos de atrasos específicos e permite uma quantificação mais clara dos fatores que prolongam o tempo de inatividade. Em vez de tratar todo o MDT como um bloco homogêneo, o novo cálculo discrimina os atrasos relacionados a questões logísticas e administrativas.

Uma das principais vantagens desse cálculo alternativo é o seu potencial para melhorar as decisões gerenciais. Ao fornecer dados mais detalhados sobre a contribuição dos atrasos administrativos e logísticos, o cálculo alternativo de Ao permite que gestores tomem decisões baseadas em informações mais precisas e realistas. Esse nível de detalhamento é

especialmente importante em contextos de manutenção complexa, como nos sistemas de defesa, onde os atrasos logísticos podem ter consequências críticas para a eficiência operacional e a prontidão das equipes. Dessa forma, o novo cálculo fornece uma base sólida para o planejamento eficaz, contribuindo para a otimização das operações de manutenção.

Outra vantagem importante é a possibilidade de utilizar o cálculo alternativo em simulações e modelagem de cenários operacionais. A capacidade de ajustar os níveis de ADT e LDT em diferentes cenários fornece ideias para a formulação de estratégias que busquem mitigar atrasos e reduzir os custos associados ao tempo de inatividade. Em ambientes onde o tempo de resposta é crítico, como nas forças de defesa, essa capacidade de simulação é essencial para garantir que os sistemas estejam prontos para operação o mais rapidamente possível.

Além disso, o cálculo alternativo permite a priorização de melhorias nas áreas onde os atrasos têm maior impacto, otimizando o uso de recursos e direcionando os esforços para os processos que, quando melhorados, resultam em ganhos operacionais mais significativos. Ao focar em ações corretivas nas áreas mais críticas, o indicador torna-se uma ferramenta estratégica para aumentar a disponibilidade operacional e, conseqüentemente, a eficiência e a produtividade dos sistemas.

5 Resultados e Discussão

5.1 Análise dos Impactos no Processo de Manutenção

5.1.1 Setor Naval

Esta seção apresenta uma avaliação detalhada dos impactos no tempo e no custo do processo de manutenção em diferentes cenários enfrentados pelo setor naval. A análise foi realizada com base em uma amostra de 10 avaliações por item questionado, fornecendo uma visão dos principais fatores que influenciam a eficiência dos processos de manutenção. Os respondentes do setor naval incluíram 6 engenheiros (com experiência variando entre 4 a 10 anos), 1 gerente (com mais de 10 anos de experiência), 2 técnicos (ambos com mais de 10 anos de experiência) e 1 encarregado (com 4 a 6 anos de experiência). Essa diversidade de funções e anos de experiência garantiu uma perspectiva abrangente e embasada sobre os desafios enfrentados, permitindo uma análise robusta dos impactos dos atrasos administrativos e logísticos.

Os dados coletados foram organizados na Tabela 5.1, que resume as médias, os valores mínimos e máximos, além do desvio padrão para cada uma das variáveis analisadas. Essa estrutura permite uma compreensão mais profunda sobre a variabilidade dos impactos reportados pelos técnicos.

TABELA 5.1 – Resultado dos itens avaliados do Setor Naval

Questão	Média	Min	Max	Desvio Padrão
Impacto no tempo - atrasos na entrega de peças de reposição	4,700000	4,000000	5,000000	0,483046
Impacto no custo - atrasos na entrega de peças de reposição	3,500000	2,000000	5,000000	0,971825
Impacto no tempo - falta de habilidades específicas	3,800000	2,000000	5,000000	1,229273
Impacto no custo - falta de habilidades específicas	3,300000	2,000000	5,000000	1,059350
Impacto no tempo - escassez de ferramentas	4,200000	4,000000	5,000000	0,421637
Impacto no custo - escassez de ferramentas	3,900000	3,000000	5,000000	0,567646
Impacto no tempo - indisponibilidade de equipamentos	4,000000	3,000000	5,000000	0,666667
Impacto no custo - indisponibilidade de equipamentos	3,700000	3,000000	5,000000	0,823273
Impacto no tempo - carência de mão de obra	4,000000	2,000000	5,000000	1,054093
Impacto no custo - carência de mão de obra	3,600000	2,000000	5,000000	1,074968
Impacto no tempo - atrasos no transporte material	3,500000	1,000000	5,000000	1,269296
Impacto no custo - atrasos no transporte material	2,600000	1,000000	5,000000	1,429841
Impacto no tempo - limitações das instalações	3,500000	2,000000	5,000000	1,080123
Impacto no custo - limitações das instalações	3,200000	2,000000	5,000000	1,229273
Impacto no tempo - atrasos em políticas	3,800000	1,000000	5,000000	1,135292
Impacto no custo - atrasos em políticas	3,200000	1,000000	5,000000	1,398412
Impacto no tempo - ausência de habilitação tecnológica	3,300000	1,000000	5,000000	1,418136
Impacto no custo - ausência de habilitação tecnológica	3,400000	1,000000	5,000000	1,264911
Impacto no tempo - atrasos na atribuições de tarefas	3,300000	1,000000	5,000000	1,337494
Impacto no custo - atrasos na atribuições de tarefas	2,666667	1,000000	4,000000	1,224745
Impacto no tempo - ausência de documentação	4,200000	2,000000	5,000000	1,032796
Impacto no custo - ausência de documentação	3,800000	2,000000	5,000000	1,032796

Fonte: os autores.

A seguir, será apresentada a interpretação de cada um dos itens avaliados.

1. Impacto de Atrasos na Entrega de Peças de Reposição:

A análise dos atrasos na entrega de peças de reposição revela um impacto significativo no tempo de manutenção, com uma média de 4,7. O baixo desvio padrão (0,48) indica uma percepção homogênea entre os participantes, reforçando que a prontidão no fornecimento de peças é crítica para a execução eficaz das atividades de manutenção. Este dado sustenta a ideia de que melhorias logísticas podem gerar ganhos imediatos no tempo de inatividade dos equipamentos.

Em termos de custo, o impacto foi menor, com uma média de 3,5 e um desvio padrão de 0,97, sugerindo uma maior variabilidade nas percepções sobre os custos adicionais incorridos. Isso pode estar relacionado à natureza específica das operações ou à variação de políticas internas de gestão de estoque. De qualquer forma, os dados destacam que, apesar de o impacto no custo ser menor, ele ainda é relevante para a análise financeira do processo de manutenção.

2. Impacto da Falta de Habilidades Técnicas

A falta de habilidades específicas entre o pessoal técnico mostrou um impacto significativo no tempo, com uma média de 3,8 e um desvio padrão de 1,22. Isso reflete que a disponibilidade de uma mão de obra qualificada é um fator que pode variar bastante entre as organizações. Por outro lado, o impacto no custo foi um pouco menor, com uma média de 3,3, sugerindo que, embora a falta de habilidades possa aumentar o tempo necessário para a manutenção, os custos associados nem sempre são percebidos de forma uniforme.

Este aspecto reforça a necessidade de investimentos contínuos em treinamento e desenvolvimento técnico para reduzir as variações de desempenho, o que pode, em última análise, otimizar tanto o tempo quanto os custos envolvidos nos processos de manutenção.

3. Escassez de Ferramentas

A escassez de ferramentas especiais demonstrou um impacto considerável no tempo de manutenção, com uma média de 4,2 e um desvio padrão de 0,42. A pouca variabilidade nas respostas indica que os participantes reconhecem amplamente esse fator como crítico para a eficiência do processo. No que se refere ao custo, a escassez de ferramentas apresentou uma média de 3,9, destacando o peso desse fator nas operações de manutenção.

Investimentos diretos na disponibilização de ferramentas adequadas podem gerar ganhos significativos tanto em termos de tempo quanto de custo. Estratégias preventivas, como a adequação do inventário de ferramentas e a gestão eficaz dos recursos, são fundamentais para mitigar os impactos negativos decorrentes dessa escassez.

4. Indisponibilidade de Equipamentos de Suporte

A indisponibilidade de equipamentos de suporte também demonstrou um impacto relevante, com uma média de 4,0 no tempo de manutenção e um desvio padrão de 0,66. Assim como no caso das ferramentas, os participantes reconheceram esse fator como um obstáculo importante para a eficiência das operações. O impacto no custo foi de 3,7, refletindo a relevância financeira dessa indisponibilidade.

Garantir a disponibilidade contínua de equipamentos de suporte é essencial para otimizar o processo de manutenção, e a alocação de recursos para minimizar a falta desses equipamentos deve ser uma prioridade estratégica para melhorar tanto o tempo quanto o custo das operações.

5. Carência de Mão de Obra Qualificada

A carência de mão de obra qualificada apresentou uma média de impacto no tempo de 4,0, com um desvio padrão de 1,05, sugerindo uma variabilidade nas experiências dos técnicos em relação à disponibilidade de profissionais qualificados. O impacto

no custo foi semelhante, com uma média de 3,6 e um desvio padrão de 1,07. Isso sugere que, embora haja consenso sobre a importância de uma equipe qualificada, a magnitude do impacto pode variar dependendo das condições operacionais específicas.

Esse ponto reforça a necessidade de políticas organizacionais voltadas para a retenção e capacitação contínua de pessoal, de modo a garantir a eficácia dos processos de manutenção.

6. Impacto de Atrasos no Transporte de Materiais

Os atrasos no transporte de materiais mostraram um impacto moderado no tempo de manutenção, com uma média de 3,5 e um desvio padrão de 1,26, o que sugere uma variabilidade significativa nas percepções dos técnicos. Isso pode ser explicado pela dependência das condições logísticas específicas de cada operação e pela infraestrutura disponível para suportar o transporte de materiais essenciais para as atividades de manutenção.

No que diz respeito ao custo, o impacto foi relativamente baixo, com uma média de 2,6 e um desvio padrão de 1,42, indicando que os custos adicionais gerados pelos atrasos no transporte não são percebidos como um fator tão relevante quanto outros aspectos, como a escassez de ferramentas ou a falta de habilidades técnicas. No entanto, é importante destacar que essa variabilidade pode estar relacionada às diferenças nas práticas logísticas de cada organização ou setor, o que reforça a necessidade de uma análise mais detalhada de como esses fatores afetam o desempenho financeiro das operações.

7. Limitações das Instalações Disponíveis

As limitações das instalações disponíveis para a realização das atividades de manutenção apresentaram uma média de 3,5 no impacto no tempo, com um desvio padrão de 1,08. Este resultado reflete que, embora seja um fator de impacto moderado, a qualidade e adequação das instalações têm um efeito direto sobre a eficiência das operações de manutenção. O custo relacionado a essas limitações também apresentou uma média de 3,2 e um desvio padrão de 1,22, indicando uma certa variabilidade nas percepções, possivelmente devido às diferenças na infraestrutura de manutenção entre os participantes da pesquisa.

Esses resultados sugerem que a modernização das instalações, ou pelo menos a adaptação delas para as exigências operacionais da manutenção, pode ser uma estratégia viável para melhorar o tempo e reduzir os custos relacionados aos processos de manutenção. Isso tem implicações tanto para a gestão operacional quanto para a formulação de políticas de investimentos em infraestrutura de suporte.

8. Atrasos Relacionados a Políticas e Procedimentos

Os atrasos gerados por políticas e procedimentos organizacionais tiveram um impacto de 3,8 no tempo de manutenção, com um desvio padrão de 1,13. Este resultado sugere que, embora seja um fator relevante, há variabilidade nas percepções dos técnicos sobre o impacto dessas políticas nos processos. O impacto no custo foi ligeiramente menor, com uma média de 3,2 e um desvio padrão de 1,39, indicando uma variabilidade ainda maior na forma como os custos associados são percebidos. Essa variabilidade reflete a necessidade de revisar e simplificar os procedimentos internos, buscando eliminar gargalos burocráticos que possam estar contribuindo para a ineficiência nos processos de manutenção. A implementação de políticas mais flexíveis e adaptadas às necessidades operacionais pode ser uma estratégia eficaz para mitigar esses impactos e melhorar tanto o tempo quanto o custo da manutenção.

9. Ausência de Habilitação Tecnológica

A ausência de habilitação tecnológica dos técnicos apresentou um impacto no tempo de manutenção, com média de 3,3 e um desvio padrão de 1,41. Este fator reflete uma ampla variabilidade na percepção de como a falta de tecnologias adequadas afeta o processo de manutenção. Por outro lado, o impacto no custo foi mais uniforme, com uma média de 3,4 e um desvio padrão de 1,26.

Esse resultado indica que, embora a ausência de habilitação tecnológica possa ter um impacto significativo no tempo de manutenção, a relação com os custos é percebida de forma mais homogênea. Isso sugere que a adoção de tecnologias mais avançadas e a capacitação técnica dos profissionais são elementos essenciais para melhorar a eficiência das operações e reduzir os custos operacionais, particularmente em ambientes industriais complexos, como o setor naval.

10. Atrasos na Atribuição de Tarefas

Os atrasos na atribuição de tarefas demonstraram um impacto moderado no tempo de manutenção, com uma média de 3,3 e um desvio padrão de 1,33. A alta variabilidade nas respostas sugere que a eficácia desse processo varia amplamente entre as diferentes organizações ou situações analisadas. Esse fator indica que práticas de gestão de tarefas inconsistentes podem influenciar negativamente o tempo de execução das atividades de manutenção.

Quanto ao impacto no custo, a média foi de 2,66, a menor entre os itens avaliados, e o desvio padrão foi de 1,22. Esses resultados indicam que, embora os atrasos na atribuição de tarefas não sejam percebidos como tão onerosos em termos financeiros, ainda representam um desafio significativo para a eficiência operacional.

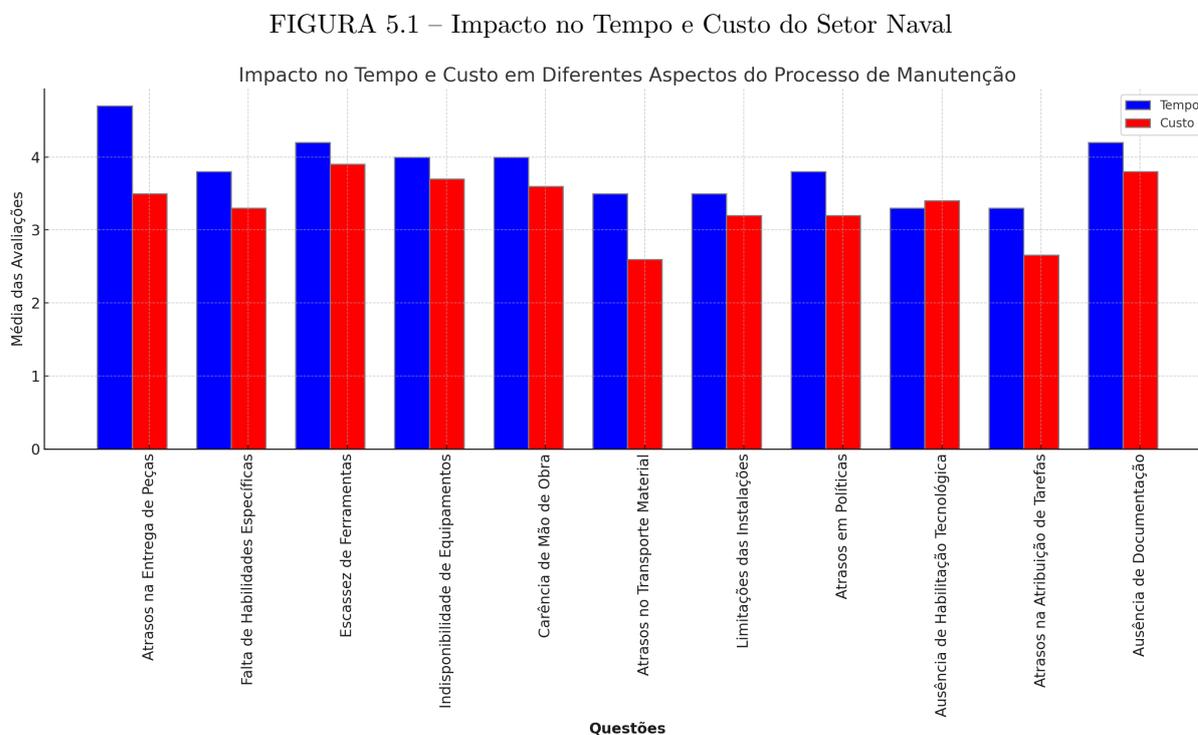
Melhorias no processo de atribuição de tarefas, como a implementação de sistemas de gestão mais ágeis e automação de fluxos de trabalho, podem contribuir para a redução desses atrasos, otimizando o tempo de manutenção e diminuindo os custos operacionais associados.

11. Ausência de Documentação Necessária

A ausência de documentação técnica necessária, como manuais e folhas de especificação, foi percebida como tendo um impacto significativo tanto no tempo quanto no custo de manutenção. Com uma média de 4,2 no tempo e 3,8 no custo, esses resultados indicam que a falta de informações técnicas adequadas pode gerar ineficiências operacionais e custos adicionais consideráveis.

Essa carência de documentação compromete não apenas a execução eficiente dos processos de manutenção, mas também pode prolongar o tempo de inatividade dos equipamentos, ao forçar os técnicos a trabalharem com base em tentativa e erro, ou até mesmo improvisações. A implementação de uma base de dados técnica atualizada e acessível pode, portanto, ser uma solução imediata para mitigar esses problemas, contribuindo diretamente para a redução de atrasos e custos adicionais.

A Figura 5.1 apresenta os impactos no Tempo e no Custo em diferentes aspectos do processo de manutenção.



Fonte: os autores.

5.1.1.1 Identificação de Áreas Críticas

A análise dos dados coletados permitiu identificar áreas críticas que impactam de maneira expressiva o tempo e o custo no processo de manutenção. Entre os fatores analisados, destacam-se três que apresentam as maiores médias, evidenciando serem os de maior impacto segundo a percepção dos participantes da pesquisa.

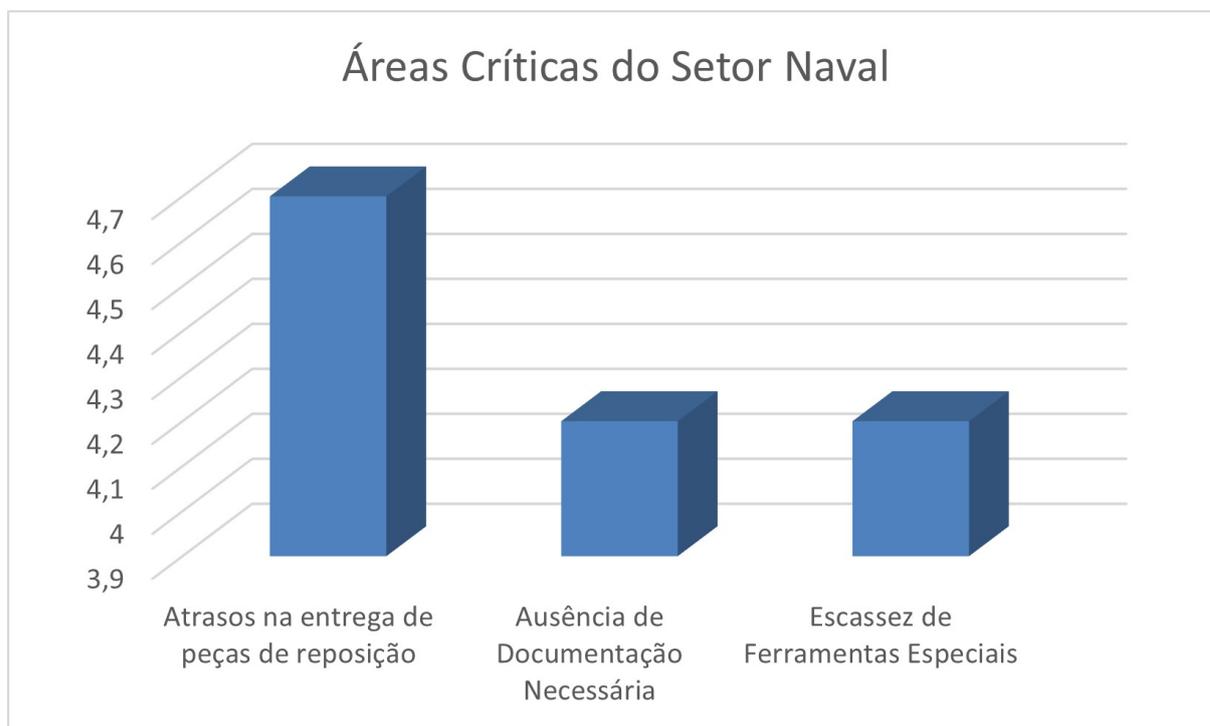
O primeiro fator identificado são os atrasos na entrega de peças de reposição, que registraram a maior média em relação ao impacto no tempo, com uma pontuação de 4,7. Esse resultado evidencia uma preocupação significativa em relação à prontidão e disponibilidade de componentes essenciais para a manutenção. A logística de fornecimento de peças é um ponto importante, pois qualquer atraso prolonga diretamente o tempo de inatividade dos equipamentos, comprometendo a eficiência operacional. Em um ambiente de manutenção, a dependência de um fluxo logístico eficiente torna-se imperativa para evitar interrupções operacionais.

No que diz respeito ao custo, a escassez de ferramentas especiais surge como o principal fator, com uma média de 3,9. A falta de ferramentas adequadas representa um desafio financeiro não apenas pelo custo direto de aquisição ou aluguel de ferramentas alternativas, mas também pelos riscos indiretos, como a redução da qualidade do serviço ou a necessidade de soluções improvisadas, que podem acarretar maior custo operacional e riscos à segurança. A presença de ferramentas inadequadas também pode resultar em uma manutenção mais demorada e menos eficaz, o que reforça a necessidade de controle sobre a gestão de recursos materiais.

Outro fator de grande relevância, tanto em termos de tempo quanto de custo, é a ausência de documentação técnica adequada. Com uma média de 4,2 no impacto sobre o tempo e 3,8 em relação ao custo, a falta de manuais técnicos e especificações detalhadas se apresenta como uma barreira significativa à execução eficaz das atividades de manutenção. Sem acesso à documentação correta, os técnicos ficam sujeitos a processos de tentativa e erro, o que não só aumenta o tempo de manutenção, como também eleva os custos associados a possíveis erros ou retrabalhos.

A Figura 5.2 apresenta as principais áreas críticas que impactam o tempo de manutenção no setor naval.

FIGURA 5.2 – Áreas Críticas do Setor Naval



Fonte: os autores.

Esses resultados indicam que ações corretivas e preventivas devem ser implementadas nas áreas identificadas como críticas. Melhorias na logística de suprimentos são essenciais para reduzir os atrasos na entrega de peças, enquanto o acesso a ferramentas adequadas pode ser garantido por meio de uma gestão eficaz dos recursos e inventários. Da mesma forma, a manutenção de uma base de dados técnica atualizada é fundamental para evitar as ineficiências causadas pela falta de documentação.

5.1.2 Setor Aeroespacial

Esta seção apresenta uma avaliação detalhada dos impactos no tempo e no custo do processo de manutenção em diferentes cenários enfrentados pelo setor aeroespacial. A análise foi realizada com base em uma amostra de 4 avaliações por item questionado, fornecendo uma visão dos principais fatores que influenciam a eficiência dos processos de manutenção. Os respondentes do setor aeroespacial incluíram 1 engenheiro, 1 gerente e 2 técnicos, todos com mais de 10 anos de experiência na área de manutenção. A alta experiência dos participantes reflete a complexidade técnica e a criticidade dos sistemas aeroespaciais, que demandam profissionais altamente qualificados e especializados. A presença de engenheiros e gerentes trouxe uma visão estratégica e gerencial, enquanto os técnicos contribuíram com percepções práticas e operacionais.

Os dados coletados foram dispostos na Tabela 5.2, que apresenta as médias, os valores mínimo e máximo, além do desvio padrão para cada variável analisada. A organização desses dados facilita uma análise mais abrangente da variabilidade nos impactos observados pelos profissionais de manutenção, permitindo uma compreensão mais detalhada dos desafios enfrentados no setor aeroespacial.

TABELA 5.2 – Resultado dos itens avaliados do Setor Aeroespacial

Questão	Média	Min	Max	Desvio Padrão
Impacto no tempo - atrasos na entrega de peças de reposição	4,25	4,00	5,00	0,50000
Impacto no custo - atrasos na entrega de peças de reposição	4,25	3,00	5,00	0,95743
Impacto no tempo - falta de habilidades específicas	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no custo - falta de habilidades específicas	4,25	4,00	5,00	0,50000
Impacto no tempo - escassez de ferramentas	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no custo - escassez de ferramentas	4,25	4,00	5,00	0,50000
Impacto no tempo - indisponibilidade de equipamentos	4,75	4,00	5,00	0,50000
Impacto no custo - indisponibilidade de equipamentos	4,00	4,00	4,00	0,00000
Impacto no tempo - carência de mão de obra	4,75	4,00	5,00	0,50000
Impacto no custo - carência de mão de obra	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no tempo - atrasos no transporte material	4,25	4,00	5,00	0,50000
Impacto no custo - atrasos no transporte material	4,00	4,00	4,00	0,00000
Impacto no tempo - limitações das instalações	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no custo - limitações das instalações	4,25	4,00	5,00	0,50000
Impacto no tempo - atrasos em políticas	4,25	3,00	5,00	0,95743
Impacto no custo - atrasos em políticas	3,50	3,00	4,00	0,57735
Impacto no tempo - ausência de habilitação tecnológica	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no custo - ausência de habilitação tecnológica	4,00	4,00	4,00	0,00000
Impacto no tempo - atrasos na atribuições de tarefas	4,00	3,00	5,00	0,81650
Impacto no custo - atrasos na atribuições de tarefas	4,00	4,00	4,00	0,00000
Impacto no tempo - ausência de documentação	4,50	4,00	5,00	0,57735
Impacto no custo - ausência de documentação	4,25	4,00	5,00	0,50000

Fonte: os autores.

A seguir, será apresentada a interpretação de cada um dos itens avaliados.

1. Impacto de Atrasos na Entrega de Peças de Reposição

A análise dos atrasos na entrega de peças de reposição revela um impacto significativo no tempo de manutenção, com uma média de 4,25. Esse valor indica que os participantes percebem os atrasos no fornecimento de peças como um fator crítico,

influenciando diretamente a extensão do tempo necessário para concluir as atividades de manutenção. O desvio padrão de 0,50 sugere uma opinião relativamente consistente entre os respondentes, reforçando que a eficiência logística é vista como um fator determinante para minimizar o tempo de inatividade dos equipamentos.

No que diz respeito ao custo, o impacto foi igualmente elevado, com uma média de 4,25, mas com um desvio padrão de 0,96, sugerindo maior variabilidade nas percepções dos participantes. Isso pode refletir diferenças nas práticas de gestão de estoques e suprimentos entre as organizações. No entanto, a média alta sugere que os atrasos logísticos não afetam apenas o tempo, mas também geram custos financeiros significativos, especialmente em operações onde a reposição de peças é essencial para a continuidade das atividades.

2. Impacto da Falta de Habilidades Específicas

A falta de habilidades específicas entre os técnicos apresentou um impacto elevado no tempo de manutenção, com uma média de 4,50. Este valor reflete a percepção clara de que a carência de competências técnicas pode prolongar significativamente o tempo necessário para executar manutenções adequadas. O desvio padrão de 0,58 indica um nível moderado de concordância entre os respondentes, sugerindo que essa questão afeta a maioria das operações, embora possa variar dependendo do nível de treinamento e experiência dos profissionais.

Quanto ao impacto no custo, a média foi de 4,25 com desvio padrão de 0,50, o que demonstra uma percepção homogênea de que a falta de habilidades técnicas eleva os custos operacionais. Sem pessoal adequadamente treinado, as operações podem enfrentar maiores custos com retrabalhos ou erros, além da necessidade de contratar especialistas externos para concluir as tarefas.

3. Impacto da Escassez de Ferramentas

A escassez de ferramentas apropriadas também apresentou um impacto elevado, com uma média de 4,50 no tempo de manutenção e desvio padrão de 0,58. Isso indica que, para a maioria das organizações, a falta de ferramentas adequadas compromete diretamente a agilidade do processo de manutenção. Quando não há disponibilidade imediata de ferramentas especializadas, os técnicos podem ser forçados a improvisar, o que gera atrasos.

O impacto no custo também foi significativo, com uma média de 4,25 e desvio padrão de 0,50. Esses números indicam que a escassez de ferramentas não afeta apenas o tempo de manutenção, mas também contribui para um aumento dos custos, seja pela aquisição de ferramentas adicionais ou pelo prolongamento das manutenções.

4. Impacto da Indisponibilidade de Equipamentos de Suporte

A indisponibilidade de equipamentos de suporte obteve a média mais alta no impacto sobre o tempo de manutenção, com 4,75 e desvio padrão de 0,50. Este valor extremamente alto indica que a falta de equipamentos de suporte é vista como um dos principais fatores de atraso nas atividades de manutenção. Sem esses equipamentos, as operações ficam significativamente prejudicadas, o que pode levar a longos períodos de inatividade dos sistemas.

Em relação ao impacto no custo, o valor foi fixo, com média de 4,00 e desvio padrão de 0,00, sugerindo que os custos associados à indisponibilidade de equipamentos são percebidos de maneira uniforme entre os respondentes. Isso sugere que, independentemente do contexto operacional, a falta de equipamentos de suporte gera custos previsíveis e altos.

5. Carência de Mão de Obra Qualificada

A carência de mão de obra qualificada registrou uma média de 4,75 no impacto sobre o tempo de manutenção, com desvio padrão de 0,50. Isso indica que a falta de profissionais capacitados é vista como um dos principais fatores que influenciam o prolongamento das atividades de manutenção, resultando em atrasos significativos. A percepção é de que, sem uma equipe treinada e experiente, as manutenções podem ser mais demoradas e ineficientes.

No que tange ao custo, a média foi de 4,50, com desvio padrão de 0,58, mostrando que os custos associados à falta de mão de obra qualificada também são elevados. Investimentos em treinamento e capacitação, além de políticas de retenção de talentos, são vistos como essenciais para mitigar esses impactos e reduzir tanto o tempo quanto os custos envolvidos nas operações de manutenção.

6. Impacto de Atrasos no Transporte de Materiais

Os atrasos no transporte de materiais impactaram o tempo de manutenção com uma média de 4,25 e desvio padrão de 0,50. Isso mostra que, embora não seja o fator de maior impacto, os atrasos logísticos são uma questão crítica, especialmente em operações que dependem de uma cadeia de suprimentos eficiente para assegurar a continuidade dos processos de manutenção.

Em termos de custo, o impacto foi mais moderado, com média de 4,00 e desvio padrão de 0,00. Esse resultado reflete uma percepção uniforme de que os custos adicionais gerados por esses atrasos são previsíveis, mas ainda assim impactam negativamente o orçamento das operações de manutenção.

7. Limitações das Instalações Disponíveis

As limitações das instalações disponíveis para a execução das manutenções apresentaram uma média de 4,50 no impacto sobre o tempo, com desvio padrão de 0,58.

Este valor reflete que a adequação e a infraestrutura das instalações afetam diretamente a eficiência das atividades de manutenção. Em instalações inadequadas, as manutenções tendem a ser mais longas e menos eficientes.

No que se refere ao custo, a média foi de 4,25, com desvio padrão de 0,50, sugerindo que as limitações das instalações também aumentam os custos operacionais. Isso reforça a importância de investimentos em infraestrutura adequada para otimizar tanto o tempo quanto os custos das manutenções.

8. Impacto de Atrasos Relacionados a Políticas e Procedimentos

Os atrasos causados por políticas e procedimentos administrativos apresentaram uma média de 4,25 no impacto sobre o tempo de manutenção, com desvio padrão de 0,96. Esse valor sugere que há uma variabilidade significativa na forma como os procedimentos internos são aplicados nas diferentes organizações, o que impacta diretamente o tempo de execução das manutenções.

Em termos de custo, o impacto foi menor, com uma média de 3,50 e desvio padrão de 0,58, refletindo que, embora as políticas possam gerar atrasos, o impacto financeiro é relativamente menos severo, possivelmente devido a diferenças nos processos internos e na burocracia administrativa de cada organização.

9. Ausência de Habilitação Tecnológica

A ausência de habilitação tecnológica teve um impacto significativo no tempo de manutenção, com uma média de 4,50 e desvio padrão de 0,58. Isso reflete que a falta de acesso a tecnologias adequadas, como sistemas de diagnóstico ou automação, compromete a velocidade e a precisão com que as manutenções são realizadas.

No entanto, o impacto no custo foi menor, com uma média de 4,00 e desvio padrão de 0,00, indicando que, apesar de a tecnologia ser importante para otimizar o tempo, a sua ausência não gera um impacto tão severo nos custos operacionais diretos.

10. Impacto de Atrasos na Atribuição de Tarefas

Os atrasos na atribuição de tarefas impactaram o tempo de manutenção com uma média de 4,00 e desvio padrão de 0,82, indicando que, embora seja um fator importante, sua variabilidade sugere que nem todas as organizações enfrentam o problema de forma igual.

No impacto financeiro, o custo foi mais uniforme, com uma média de 4,00 e desvio padrão de 0,00, sugerindo que os atrasos na atribuição de tarefas são vistos como custos previsíveis e gerenciáveis, embora ainda impactem a eficiência geral das operações.

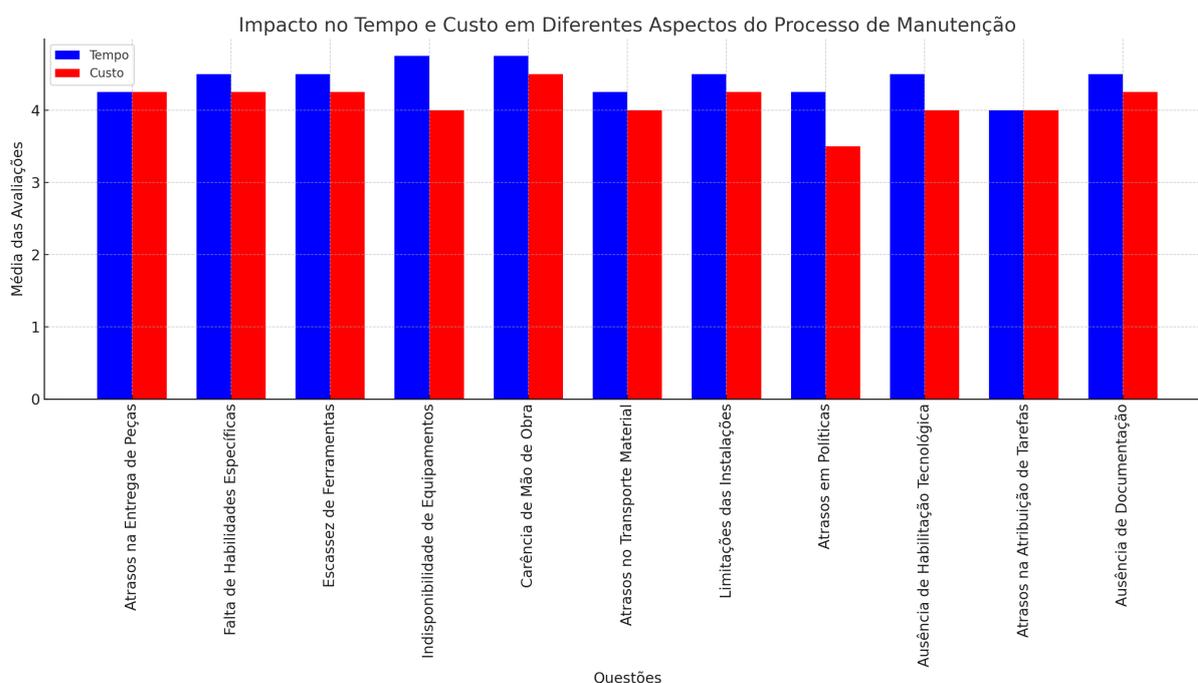
11. Ausência de Documentação Necessária

A ausência de documentação técnica, como manuais e folhas de especificação, teve um impacto elevado tanto no tempo quanto no custo. A média de 4,50 no tempo de manutenção, com desvio padrão de 0,58, indica que a falta de documentação adequada prolonga consideravelmente o tempo necessário para a execução das atividades.

No impacto sobre o custo, a média foi de 4,25, com desvio padrão de 0,50, demonstrando que a ausência de documentação também aumenta os custos operacionais, uma vez que os técnicos podem enfrentar dificuldades ao realizar diagnósticos corretos e procedimentos precisos sem acesso às informações necessárias.

A Figura 5.3 apresenta os impactos no Tempo e no Custo em diferentes aspectos do processo de manutenção.

FIGURA 5.3 – Impacto no Tempo e Custo do Setor Aeroespacial



Fonte: os autores

5.1.2.1 Identificação de Áreas Críticas

No setor aeroespacial, a análise dos impactos revelou que a indisponibilidade de equipamentos de suporte e a carência de mão de obra qualificada são as áreas críticas que mais afetam o tempo de manutenção, ambas com uma média elevada de 4,75. A falta de equipamentos essenciais resulta em atrasos substanciais nas atividades de manutenção, forçando paralisações enquanto se espera pela disponibilidade dos recursos necessários. Paralelamente, a escassez de técnicos qualificados também provoca atrasos significativos,

pois as tarefas complexas de manutenção demandam habilidades especializadas que não podem ser prontamente substituídas. A falta de profissionais qualificados não apenas retarda as operações, mas também implica custos adicionais, visto que essa área foi identificada como a mais impactante nos custos de manutenção, com uma média de 4,50. O alto custo associado à carência de mão de obra qualificada se deve ao investimento necessário em treinamento e ao possível recurso à contratação de serviços externos ou ao pagamento de horas extras para suprir as deficiências de habilidades.

A Figura 5.4 apresenta as principais áreas críticas que impactam o tempo de manutenção no setor aeroespacial.

FIGURA 5.4 – Áreas Críticas do Aeroespacial



Fonte:os autores

Esses desafios destacam a necessidade urgente de melhorias na logística de suprimentos de equipamentos e na gestão de recursos humanos no setor. Investimentos em tecnologia de suporte e melhorias na gestão de inventários de equipamentos podem reduzir os tempos de inatividade, enquanto programas robustos de treinamento e desenvolvimento de funcionários poderiam mitigar os impactos tanto no tempo quanto nos custos de manutenção. A otimização desses aspectos é fundamental para melhorar a eficiência e a eficácia das operações de manutenção aeroespacial.

5.1.3 Comparações entre o Setor Naval e o Setor Aeroespacial com Base no Índice de Impacto de Atraso (IIA)

A análise do IIA tanto para o setor naval quanto para o setor aeroespacial fornece uma visão abrangente sobre a eficiência dos processos de manutenção e sobre a magnitude dos atrasos logísticos e administrativos em cada um desses contextos. Embora ambos os setores apresentem desafios semelhantes no que diz respeito à gestão da manutenção, as características operacionais e logísticas de cada um influenciam de maneira distinta o desempenho e os fatores críticos de atraso.

5.1.3.1 Setor Naval

No setor naval, os resultados refletem a dependência crítica de peças de reposição e ferramentas especiais, muitas vezes em locais de difícil acesso, além de uma cadeia de suprimentos que enfrenta grandes desafios, como o transporte de peças para regiões remotas. Outro problema significativo identificado foi a ausência de manuais e especificações detalhadas dos equipamentos, o que compromete a eficiência dos técnicos nas atividades de manutenção, levando a falhas operacionais e retrabalhos. A falta de documentação adequada dificulta a execução precisa das tarefas, aumentando o risco de erros e prolongando o tempo necessário para concluir os procedimentos de forma eficaz.

O setor naval, com sua infraestrutura distribuída em áreas costeiras e embarcações em movimentação constante, sofre especialmente com a complexidade logística, o que aumenta a importância de uma gestão de suprimentos robusta e eficaz. Além disso, o ambiente naval, por sua natureza, demanda uma alta prontidão operacional, e os atrasos não controlados podem comprometer a segurança e a operação contínua das embarcações.

5.1.3.2 Setor Aeroespacial

Por outro lado, no setor aeroespacial, os impactos desses atrasos assumem uma complexidade ainda maior. A indústria aeroespacial depende de tecnologias avançadas e componentes extremamente específicos, que muitas vezes possuem prazos de fabricação e transporte muito longos. A indisponibilidade de equipamentos de suporte e a carência de mão de obra qualificada foram identificadas como fatores críticos no setor aeroespacial, refletindo a necessidade de uma qualificação especializada para lidar com a alta complexidade dos sistemas e a natureza singular dos processos de manutenção.

Diferentemente do setor naval, onde a logística de transporte de peças e ferramentas enfrenta desafios de distância, o setor aeroespacial lida com limitações tecnológicas e o alto custo de cada atraso. Mesmo pequenos atrasos podem ter um impacto significativo nos

cronogramas de projetos aeroespaciais e na manutenção de infraestrutura crítica, como satélites e estações espaciais.

5.1.3.3 Considerações

Apesar das diferenças de contexto, tanto o setor naval quanto o setor aeroespacial compartilham uma característica comum: a necessidade de melhoria contínua nos processos de manutenção para reduzir os atrasos e otimizar a disponibilidade operacional.

No entanto, enquanto o setor naval enfrenta desafios mais operacionais e logísticos, o setor espacial lida com complexidade técnica e limitações tecnológicas, o que aumenta a necessidade de especialização e inovação na gestão da manutenção. As soluções para o setor naval incluem a otimização de processos logísticos e o aprimoramento de políticas administrativas, enquanto no setor espacial, é fundamental focar na inovação tecnológica, qualificação contínua da mão de obra, e parcerias estratégicas para garantir o fornecimento de componentes críticos.

Portanto, a análise dos impactos permite avaliação da eficácia dos processos de manutenção em ambos os setores, permitindo identificar áreas de melhoria específicas. Ao comparar o setor naval e o setor aeroespacial, observa-se que, embora os desafios sejam semelhantes no que se refere à natureza dos atrasos, as soluções requerem abordagens customizadas para cada contexto. O sucesso na redução dos atrasos em ambos os setores depende de uma combinação de estratégias logísticas eficazes, capacitação técnica e um gerenciamento inteligente de recursos e processos.

5.2 Sugestão de Melhorias no Processo de Manutenção

Nesta seção, serão apresentadas as sugestões de melhorias identificadas a partir das respostas dos participantes do questionário, focando em estratégias eficazes para aprimorar o processo de manutenção, aumentar a disponibilidade operacional e reduzir os atrasos logísticos e administrativos. As sugestões propostas refletem uma compilação das práticas recomendadas pelos profissionais que vivenciam diariamente os desafios no campo da manutenção. Este levantamento é fundamental para entendermos as áreas críticas que requerem atenção imediata e para orientar a implementação de ações que possam efetivamente otimizar os processos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e economicamente viável dos recursos de manutenção.

5.2.1 Planejamento e Prevenção

A implementação de reuniões de Gerenciamento de Riscos, é uma das principais recomendações para mitigar os Atrasos Administrativos e Logísticos. Essas reuniões possibilitam a identificação precoce de possíveis problemas que podem ocorrer durante o processo de manutenção, permitindo que sejam tomadas medidas preventivas. O uso de ferramentas de análise de risco, como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), pode ajudar a identificar vulnerabilidades específicas, criando planos de contingência que evitam atrasos críticos. Além disso, reuniões regulares garantem que todas as partes interessadas estejam alinhadas quanto aos prazos e recursos necessários, o que aumenta a eficiência e reduz o tempo de inatividade.

5.2.2 Gestão de Recursos

A manutenção de um inventário atualizado de peças essenciais é vital para garantir a disponibilidade imediata dos componentes necessários durante a manutenção. A falta de peças adequadas é uma das maiores causas de atrasos logísticos e operacionais. Para melhorar esse processo, recomenda-se a implementação de um sistema de gestão de estoque automatizado, que permita monitorar continuamente o nível de peças e prever a necessidade de reabastecimento antes que ocorra uma escassez. Além disso, o investimento em treinamentos especializados com o fabricante dos equipamentos oferece ao pessoal técnico um conhecimento profundo das especificações das máquinas, reduzindo a necessidade de assistência externa e aumentando a eficiência operacional.

Outro ponto relevante é a redução da burocracia no processo de aquisição de peças. Ao simplificar os procedimentos de compra e criar uma comunicação mais fluida com os fornecedores, especialmente com os fabricantes dos sistemas e equipamentos, é possível reduzir o tempo de aquisição e, conseqüentemente, o tempo de inatividade. Parcerias estratégicas com fornecedores que possam oferecer suporte técnico imediato são recomendadas para garantir uma rápida resolução de problemas e a disponibilidade de peças em tempo hábil.

5.2.3 Mapeamento de Processos

O mapeamento detalhado de processos é uma ferramenta essencial para a identificação de gargalos, sobreposições de atividades e áreas de ineficiência. Esse mapeamento deve ser acompanhado de uma análise detalhada de tempos e movimentos. Ao tornar transparentes as etapas do processo de manutenção, é possível atribuir responsabilidades de maneira clara, garantindo que cada tarefa seja concluída no prazo e com eficiência.

A autonomia organizacional na execução do planejamento de manutenção é igualmente importante. Isso implica que os gestores de manutenção devem ter autoridade para ajustar os cronogramas de manutenção de acordo com as necessidades operacionais, sem depender excessivamente de decisões administrativas. O uso de sistemas de gestão de manutenção computadorizados (CMMS) permite uma visão em tempo real das condições dos equipamentos, facilitando o planejamento de manutenções preditivas e preventivas. Essas rotinas de manutenção antecipada são fundamentais para evitar falhas inesperadas, que resultam em paradas de equipamentos e aumentam o tempo de inatividade.

5.2.4 Desenvolvimento de Competências

O investimento contínuo no desenvolvimento das competências técnicas dos profissionais envolvidos na manutenção é importante para garantir que as atividades sejam realizadas com precisão e rapidez. Cursos, *workshops* e treinamentos regulares com fabricantes e consultorias especializadas permitem que os técnicos estejam sempre atualizados quanto às melhores práticas e inovações tecnológicas. Esse tipo de investimento tem um impacto direto na redução de retrabalhos e erros, além de reduzir a dependência de serviços terceirizados, que muitas vezes aumentam o custo da manutenção.

5.2.5 Padronização de Equipamentos

A padronização dos equipamentos de referência e de teste é outro ponto crítico para a melhoria do processo de manutenção. Equipamentos padronizados facilitam o treinamento do pessoal e a manutenção dos próprios equipamentos, já que a equipe estará familiarizada com o uso e a calibração de todas as ferramentas. Além disso, a escolha de fornecedores que ofereçam suporte técnico no Brasil, quando possível, é essencial para reduzir tempos de resposta e custos logísticos.

5.2.6 Inovação e Melhoria Contínua

A implementação de um Escritório de Gestão de Projetos (PMO) específico para a área de manutenção é uma estratégia eficaz para garantir a coordenação de múltiplos projetos de manutenção, com foco em melhoria contínua. O PMO permite um acompanhamento mais detalhado dos prazos, orçamentos e recursos envolvidos em cada intervenção. O mapeamento de processos contínuos também é fundamental para monitorar a eficiência das melhorias implantadas, garantindo que os resultados sejam duradouros.

Adicionalmente, o uso de análises estatísticas preditivas é recomendado para prever possíveis paradas não planejadas e falhas nos sistemas. Ferramentas de *machine learning*

podem ser utilizadas para analisar dados históricos de manutenção e prever quando e onde podem ocorrer problemas, permitindo que a equipe de manutenção atue de forma proativa. Paralelamente, o gerenciamento orçamentário deve ser feito de maneira a garantir que os custos de manutenção não ultrapassem os limites estabelecidos, utilizando ferramentas de controle financeiro que acompanhem o custo real de cada intervenção.

5.2.7 Colaboração e Compartilhamento de Conhecimento

Por fim, é essencial promover a troca de conhecimentos e experiências entre os técnicos de manutenção. A criação de comunidades internas de prática ou fóruns de discussão entre as equipes permite que as melhores práticas e soluções inovadoras sejam compartilhadas, evitando que os mesmos erros sejam repetidos e facilitando a busca por soluções para problemas complexos. Essas interações, somadas à formalização de manuais e treinamentos, garantem uma evolução contínua do conhecimento dentro da organização, maximizando a eficiência das operações.

5.3 Simulação

Nesta seção, é descrito o processo de simulação utilizado para avaliar o Índice de Impacto de Atrasos (IIA) e o cálculo alternativo da Disponibilidade Operacional (Ao) nos setores naval e aeroespacial. A simulação foi construída com base em dados coletados por meio de questionários direcionados a especialistas, que forneceram uma avaliação detalhada sobre a influência de atrasos administrativos e logísticos nas operações desses setores. A análise dos dados coletados permitiu a criação de cenários distintos para cada setor, proporcionando uma visão comparativa sobre como esses atrasos afetam a disponibilidade operacional de sistemas complexos em diferentes contextos operacionais.

5.3.1 Método

O método utilizado transforma as percepções dos especialistas em dados objetivos. Esses valores foram convertidos em pesos para cada fator de atraso, e um multiplicador de 20 horas foi aplicado para calcular os tempos de atrasos administrativos (ADT) e logísticos (LDT). Essa abordagem permitiu quantificar o impacto dos atrasos em uma métrica de horas, facilitando a estimativa tanto do IIA quanto da disponibilidade operacional.

Por exemplo, se a falta de habilidades específicas entre o pessoal técnico foi avaliada com uma média de 3,8, isso corresponde a 76 horas de atraso ($3,8 \times 20$ horas). Esse procedimento foi replicado para todos os fatores de atraso, permitindo a conversão das

percepções em horas de atraso baseadas na experiência prática dos especialistas. Dessa forma, os cálculos de IIA e Ao foram diretamente relacionados ao contexto operacional dos setores.

A escolha do valor base de 20 horas para o fator multiplicador foi fruto de uma análise detalhada e calibração. Inicialmente, valores mais altos, como 30 ou 50 horas, foram testados, mas resultaram em estimativas excessivamente altas de atraso, desconsiderando a realidade operacional dos setores. Por outro lado, valores menores, como 10 horas, subestimaram o impacto dos atrasos, produzindo resultados que não refletiam adequadamente as dificuldades operacionais enfrentadas. Assim, o valor de 20 horas foi definido como ideal para equilibrar a precisão das estimativas.

5.3.2 Descrição dos Cenários

Três cenários foram modelados para avaliar o impacto dos atrasos sob diferentes condições operacionais:

1. **Cenário Ótimo:** Representa a situação com o menor nível de atrasos, utilizando os valores mínimos da escala de percepção para ADT e LDT, refletindo uma gestão eficiente e poucas falhas operacionais.
2. **Cenário Normal:** Reflete a situação padrão, com valores médios das percepções, representando a condição operacional mais comum vivenciada pelos sistemas.
3. **Cenário Crítico:** Simula uma condição severa, utilizando os valores máximos da escala de percepção, destacando o impacto negativo mais acentuado na disponibilidade operacional.

5.3.3 Parâmetros Utilizados na Simulação

A simulação foi realizada com base em um período de observação de seis meses, correspondente a 4320 horas de operação. Esse período foi escolhido por representar um ciclo operacional completo, permitindo a captura de uma ampla variedade de eventos, como falhas e manutenções programadas, que ocorrem ao longo desse tempo. A soma dos valores de MTBM e MDT (referentes ao Tempo Médio Entre Manutenções e ao Tempo Médio de Inatividade, respectivamente) foi ajustada para que o tempo total de observação refletisse essas 4320 horas.

A escolha de seis meses como período de simulação também está alinhada com os ciclos operacionais típicos e os períodos de relatórios das organizações nos setores naval e aeroespacial. Esse intervalo de tempo proporciona um equilíbrio entre reatividade e

planejamento estratégico, permitindo a avaliação das operações e o impacto dos atrasos de maneira mais geral. Ele também oferece a possibilidade de ajustes táticos em tempo hábil para mitigar os impactos dos atrasos.

Além disso, o Tempo Médio de Manutenção Ativa (AMT) foi fixado em 300 horas para todos os cenários simulados, tanto no setor naval quanto no setor aeroespacial. Essa padronização visa garantir a uniformidade na medição das intervenções de manutenção e minimizar variações que poderiam distorcer a análise do impacto dos atrasos administrativos e logísticos. A fixação do AMT também permite que os efeitos dos Atrasos Administrativos (ADT) e Atrasos Logísticos (LDT) sejam isolados e medidos com maior precisão, facilitando a comparação entre os diferentes cenários.

As tabelas 5.3 e 5.4 apresentam os valores dos impactos estimados no tempo para os setores naval e aeroespacial respectivamente em três cenários distintos: Ótimo, Normal e Crítico. Esses valores foram utilizados como base para a simulação, destacando as variações nas operações em diferentes condições.

TABELA 5.3 – Impacto em Horas no Setor Naval

Questão	Ótimo (h)	Normal (h)	Crítico (h)
Atrasos na entrega de peças de reposição	80	94	100
Falta de habilidades específicas	40	76	100
Escassez de ferramentas	80	84	100
Indisponibilidade de equipamentos	60	80	100
Carência de mão de obra	40	80	100
Atrasos no transporte material	20	70	100
Limitações das instalações	40	70	100
Atrasos em políticas	20	76	100
Ausência de habilitação tecnológica	20	66	100
Atrasos na atribuições de tarefas	20	66	100
Ausência de documentação	40	84	100

Fonte: os autores.

As tabelas fornecem uma visão detalhada dos impactos projetados para os diferentes cenários simulados. Com esses dados, foi possível medir o impacto dos atrasos e realizar a simulação de forma precisa, refletindo as condições reais enfrentadas em ambos os setores.

5.3.4 Avaliação dos Cenários Simulados

Para calcular o Índice de Impacto de Atrasos (IIA) nos três cenários, foi utilizada a Equação 4.2. A Disponibilidade Operacional (Ao), por sua vez, foi determinada utilizando a Equação de cálculo alternativo 4.3, que utiliza o valor de IIA obtido. Essas equações foram aplicadas aos três cenários (Ótimo, Normal e Crítico) para os setores naval e aero-

TABELA 5.4 – Impacto em Horas no Setor Aeroespacial

Questão	Ótimo (h)	Normal (h)	Crítico (h)
Atrasos na entrega de peças de reposição	80	85	100
Falta de habilidades específicas	80	90	100
Escassez de ferramentas	80	90	100
Indisponibilidade de equipamentos	80	95	100
Carência de mão de obra	80	95	100
Atrasos no transporte material	80	85	100
Limitações das instalações	80	90	100
Atrasos em políticas	60	85	100
Ausência de habilitação tecnológica	80	90	100
Atrasos na atribuições de tarefas	60	80	100
Ausência de documentação	80	90	100

Fonte: os autores.

espacial. Os valores de ADT e LDT utilizados estão apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4, que indicam os impactos estimados no tempo para cada cenário.

5.3.4.1 Setor Naval

Os resultados no setor naval mostraram uma relação inversa entre o IIA e a Ao. No Cenário Ótimo, o IIA foi calculado em 60,52%, resultando em uma disponibilidade operacional de 82,40%. Este cenário reflete uma gestão eficiente dos atrasos, com impacto reduzido sobre a operação.

No Cenário Normal, o IIA subiu para 73,82%, causando uma queda na disponibilidade operacional para 73,47%. Essa mudança indica que, mesmo em um cenário de atrasos moderados, a disponibilidade operacional é diretamente afetada, comprometendo a eficiência dos sistemas.

No Cenário Crítico, o IIA atingiu 78,57%, o que resultou em uma disponibilidade operacional de 67,59%. Este valor reflete o impacto severo dos atrasos frequentes e intensos, demonstrando como a operação é prejudicada em condições extremas.

5.3.4.2 Setor Aeroespacial

De maneira similar, o setor aeroespacial também apresentou uma relação inversa entre o IIA e a Ao. No Cenário Ótimo, o IIA foi calculado em 73,68%, com a disponibilidade operacional resultante de 73,61%. Isso mostra que, mesmo em um cenário otimizado, os atrasos logísticos e administrativos têm um impacto significativo no setor aeroespacial, possivelmente devido à maior complexidade de suas operações.

No Cenário Normal, o IIA subiu para 76,47%, o que reduziu a disponibilidade opera-

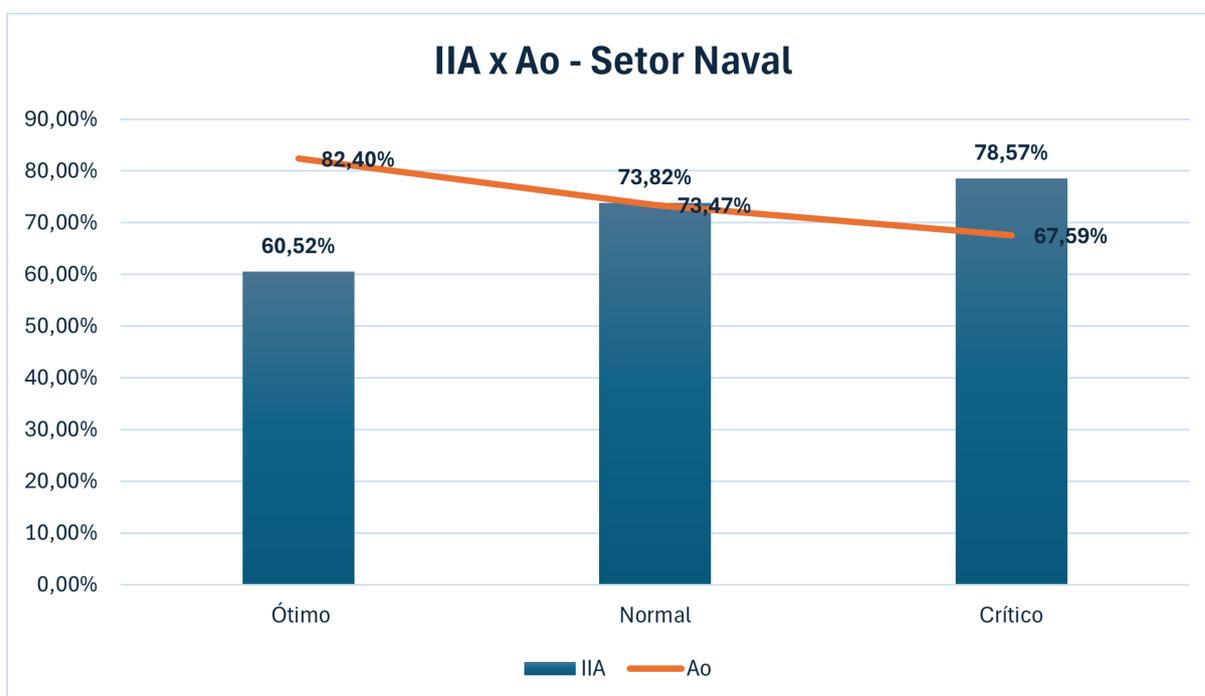
cional para 70,48%. Assim como no setor naval, os atrasos moderados comprometem a eficiência das operações aeroespaciais, refletindo uma queda considerável na Ao.

No Cenário Crítico, o IIA também atingiu 78,57%, com a disponibilidade operacional de 67,59%, coincidindo com o valor do setor naval. Essa coincidência se deve ao fato de que, em ambos os setores, foram aplicados os valores máximos de atrasos administrativos e logísticos, levando a um impacto similar sobre a disponibilidade operacional.

5.3.4.3 Representação Gráfica

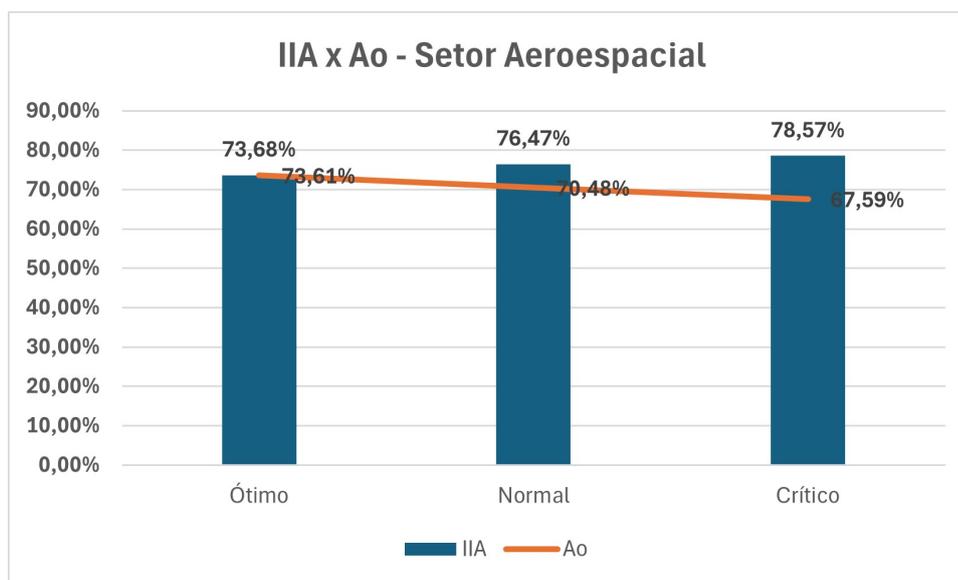
Os resultados são ilustrados nas Figuras 5.5 e 5.6, que mostram como o IIA e a Ao se comportam nos diferentes cenários simulados para os setores naval e aeroespacial.

FIGURA 5.5 – IIAxAo Setor Naval



Fonte: os autores.

FIGURA 5.6 – IIAxAo Setor Aeroespacial



Fonte: os autores.

As figuras evidenciam a relação inversa entre o IIA e a Ao. À medida que o IIA aumenta, a disponibilidade operacional diminui, refletindo o impacto direto que os atrasos têm sobre a continuidade operacional dos sistemas em ambos os setores. O comportamento similar observado no Cenário Crítico entre os setores naval e aeroespacial destaca que, em condições de atrasos extremos, o impacto sobre a operação tende a ser equivalente, independentemente das particularidades setoriais.

5.3.5 Interpretação dos Resultados

A interpretação dos resultados da simulação revela uma correlação clara entre o aumento do Índice de Impacto de Atrasos (IIA) e a diminuição da disponibilidade operacional (Ao) nos setores naval e aeroespacial. O IIA representa a proporção do tempo total de inatividade que é atribuída aos atrasos administrativos e logísticos, ou seja, é uma métrica que indica o quanto dos períodos de inatividade operacionais são diretamente decorrentes de atrasos. Valores mais elevados de IIA indicam que uma parcela maior do tempo de inatividade está sendo consumida por esses atrasos, enquanto a manutenção propriamente dita ocupa uma parcela menor do tempo.

Nos três cenários simulados (Ótimo, Normal e Crítico), observou-se que os valores de IIA foram relativamente altos, o que sugere que uma parcela significativa do tempo de inatividade está relacionada aos atrasos, e não diretamente à manutenção. Isso abre margem para melhorias nos processos, uma vez que a porcentagem de tempo de inatividade relacionada aos atrasos supera a porcentagem de tempo associada às atividades de manu-

tenção. Em outras palavras, há uma oportunidade clara de otimizar a gestão dos atrasos, com o potencial de reduzir o tempo total de inatividade e melhorar a disponibilidade operacional.

No Cenário Ótimo, o impacto dos atrasos é minimizado, refletindo uma operação altamente eficiente, o que resultou em uma alta disponibilidade operacional. Esse cenário representa uma gestão proativa e eficaz, onde os atrasos, tanto administrativos quanto logísticos, são minimamente prejudiciais ao desempenho global.

No Cenário Normal, as operações apresentam um nível moderado de atrasos, o que leva a uma queda na disponibilidade operacional. Esse cenário reflete a realidade da maioria das operações, onde, apesar de uma gestão regular, alguns atrasos são inevitáveis, impactando diretamente a eficiência. A disponibilidade operacional neste contexto, embora ainda viável, começa a ser comprometida, exigindo ações corretivas para evitar uma maior deterioração dos resultados.

Por fim, o Cenário Crítico expõe os efeitos mais severos dos atrasos, onde a disponibilidade operacional é significativamente reduzida. Nesse cenário, os atrasos são constantes e de alta magnitude, evidenciando a importância de uma gestão ágil e adaptativa para minimizar os efeitos dos imprevistos. A coincidência de valores de IIA e Ao entre os setores naval e aeroespacial no Cenário Crítico reforça que, em condições extremas, os atrasos máximos afetam de maneira semelhante ambos os setores, independentemente das especificidades operacionais de cada um.

5.3.6 Comparação entre os Cenários

Os gráficos apresentados permitem uma análise comparativa entre o comportamento do IIA e Ao nos setores naval e aeroespacial, oferecendo importantes lições sobre a relação entre atrasos e desempenho operacional. Em ambos os setores, observa-se que o aumento do IIA está diretamente associado à redução da Ao, evidenciando o impacto negativo dos atrasos logísticos e administrativos na eficiência dos sistemas. No entanto, há diferenças significativas na sensibilidade de cada setor a esse aumento, o que aponta para características específicas de suas operações.

No setor naval, o comportamento do IIA é mais sensível à criticidade, com um aumento expressivo de 60,52% no cenário Ótimo para 78,57% no cenário Crítico. Em paralelo, a disponibilidade operacional sofre uma redução mais acentuada, declinando de 82,40% para 67,59% entre os mesmos cenários. Esses resultados sugerem uma maior vulnerabilidade do setor naval à ocorrência de atrasos, possivelmente devido à complexidade de suas operações, à dependência de fatores externos, como transporte marítimo, e à menor flexibilidade para lidar com imprevistos logísticos.

Por outro lado, o setor aeroespacial apresenta um comportamento mais resiliente, com o IIA crescendo de forma mais gradual, variando de 73,68% no cenário Ótimo para 78,57% no cenário Crítico. A disponibilidade operacional também apresenta uma queda menos acentuada, variando de 73,61% para 67,59%. Essa estabilidade relativa pode refletir melhores práticas no planejamento logístico, maior automação, padronização de processos ou investimentos em mecanismos que mitiguem os impactos de atrasos, como redundância em sistemas críticos e maior eficiência nos fluxos operacionais.

Esses resultados permitem inferir que o setor naval é mais sensível ao aumento do IIA, com uma correlação mais evidente entre o crescimento do índice e a redução na Ao. Já o setor aeroespacial, embora também impactado, demonstra maior resiliência diante de atrasos logísticos e administrativos. Tal diferença sugere que estratégias específicas devem ser desenvolvidas para mitigar os efeitos dos atrasos em cada contexto. Enquanto o setor naval poderia se beneficiar de maior integração logística e de estratégias focadas na redução de atrasos administrativos, como a implementação de manutenção preditiva, o setor aeroespacial parece já estar melhor adaptado para lidar com essas adversidades, podendo priorizar a otimização contínua de seus processos.

Por fim, a análise evidencia a importância do IIA como uma métrica robusta para avaliar o impacto de atrasos na disponibilidade operacional. A diferença de sensibilidade observada entre os setores reforça a necessidade de adaptar abordagens específicas para mitigar os impactos negativos e melhorar o desempenho operacional de cada setor, considerando suas particularidades e desafios operacionais.

5.3.7 Considerações sobre a validade dos resultados

A validade dos resultados obtidos na simulação está fortemente associada à qualidade dos dados fornecidos pelos especialistas e à representatividade dos cenários simulados. O uso de uma escala de percepção para capturar os atrasos administrativos e logísticos permitiu a construção de um modelo que reflete as condições reais de operação nos setores naval e aeroespacial. Entretanto, como em qualquer simulação, existem limitações que devem ser consideradas.

Os valores de IIA e Ao obtidos foram baseados em estimativas de especialistas, e sua precisão depende da consistência dessas percepções com a realidade operacional. Além disso, a definição de um valor base de 20 horas para o fator multiplicador foi determinada após uma fase de calibração, e, embora esse valor tenha se mostrado adequado para os cenários estudados, ele pode não ser diretamente aplicável a outros contextos ou setores.

Outra limitação é a fixação do Tempo Médio de Manutenção Ativa (AMT) em 300 horas, que, embora tenha sido essencial para controlar as variáveis de estudo, não reflete a

variabilidade natural das operações de manutenção em diferentes condições operacionais. Ainda assim, essa escolha foi fundamental para garantir a comparabilidade dos resultados entre os cenários e os setores, permitindo que o impacto dos atrasos fosse isolado e analisado com maior precisão.

Em síntese, os resultados da simulação são válidos dentro das limitações impostas pelo escopo do estudo e fornecem uma base confiável para a tomada de decisões estratégicas nos setores naval e aeroespacial, especialmente no que tange à gestão de atrasos e ao impacto desses atrasos na disponibilidade operacional.

6 Conclusão

6.1 Propósito do Trabalho

O objetivo central deste trabalho foi desenvolver e validar um modelo que integre os atrasos administrativos e logísticos ao cálculo da disponibilidade operacional de sistemas complexos, como os setores naval e aeroespacial. Para isso, foi proposto o Índice de Impacto de Atrasos (IIA), que oferece uma abordagem inovadora para medir e prever os impactos dos atrasos. Além disso, foi proposto também um cálculo alternativo da Disponibilidade Operacional (Ao), que leva em consideração o IIA, permitindo uma avaliação mais precisa dos efeitos desses atrasos sobre a continuidade operacional. A proposta é que, com a inclusão do IIA, seja possível obter uma métrica mais próxima da realidade operacional, proporcionando uma ferramenta poderosa para a gestão da disponibilidade.

6.2 Avaliação do Cumprimento dos Objetivos da Pesquisa

A análise da conclusão do trabalho em relação aos objetivos gerais e específicos propostos permite confirmar que todos foram atendidos, conforme evidenciado ao longo do desenvolvimento da dissertação. O objetivo geral do estudo consistia em desenvolver e validar um modelo de indicador voltado para a disponibilidade operacional do sistema, com ênfase nos atrasos logísticos e administrativos. Esse objetivo foi alcançado com a proposta do cálculo alternativo da disponibilidade operacional, que integra o Índice de Impacto de Atrasos. O IIA foi desenvolvido para quantificar o impacto dos atrasos administrativos e logísticos no tempo médio de inatividade, oferecendo uma visão mais realista da disponibilidade operacional em sistemas complexos, como os setores naval e aeroespacial. A validação do modelo foi realizada por meio de simulações em três cenários distintos (Ótimo, Normal e Crítico), que demonstraram a eficácia do IIA em prever e mitigar os impactos dos atrasos, conforme discutido no Capítulo 5 (Resultados e Discussão).

Quanto aos objetivos específicos, o primeiro tinha como propósito analisar e quantificar a influência dos atrasos administrativos e logísticos na Disponibilidade Operacional, especialmente em sistemas complexos. Esse objetivo foi atendido no Capítulo 4 (Método),

onde o IIA foi desenvolvido e sua fórmula foi detalhada, considerando os componentes principais dos atrasos (ADT e LDT). Além disso, no Capítulo 5, os resultados das simulações e a análise dos questionários aplicados a especialistas dos setores naval e aeroespacial permitiram quantificar o impacto desses atrasos na disponibilidade operacional, evidenciando uma relação inversa entre o IIA e a Ao.

O segundo objetivo específico visava identificar as principais causas e fatores que contribuem para os atrasos administrativos e logísticos, considerando tanto a cadeia de suprimentos como políticas e procedimentos internos. Esse objetivo foi amplamente abordado no Capítulo 3 (Mapeamento Sistemático da Literatura), onde foram identificadas as principais causas de atrasos, como a falta de habilidades específicas, a escassez de ferramentas, a dificuldade na obtenção de peças de reposição e os atrasos decorrentes de políticas e procedimentos organizacionais. Adicionalmente, no Capítulo 5, os resultados dos questionários reforçaram essas causas, destacando áreas críticas que impactam significativamente o tempo e o custo dos processos de manutenção.

Por fim, o terceiro objetivo específico objetivava propor e validar um modelo de indicador de impacto de atrasos, com as métricas para suas composições e finalidades. Esse objetivo foi cumprido no Capítulo 4, com a criação do IIA e sua integração ao cálculo alternativo da disponibilidade operacional. A validação do modelo foi realizada por meio de simulações e análises comparativas entre os setores naval e aeroespacial, apresentadas no Capítulo 5. Os resultados demonstraram que o IIA é uma ferramenta eficaz para avaliar e prever os impactos dos atrasos.

Em síntese, o trabalho atendeu plenamente aos objetivos propostos, oferecendo uma contribuição para a gestão da disponibilidade operacional em sistemas complexos. O cálculo alternativo da disponibilidade operacional, integrando o IIA, representa um avanço metodológico, permitindo uma análise mais detalhada dos fatores que impactam a disponibilidade, especialmente em cenários que envolvem atrasos administrativos e logísticos. A validação do modelo por meio de simulações e a aplicação prática nos setores naval e aeroespacial reforçam a relevância e a aplicabilidade do novo indicador proposto.

6.3 Abordagem e Método

O método adotado foi baseado em questionários aplicados a especialistas dos setores naval e aeroespacial, que forneceram dados sobre os impactos dos atrasos administrativos e logísticos em suas operações. Esses dados foram transformados em métricas objetivas, resultando na criação de três cenários distintos: Cenário Ótimo, Cenário Normal e Cenário Crítico. Em cada cenário, o IIA foi calculado e integrado ao cálculo alternativo da Disponibilidade Operacional (Ao). Essa abordagem inovadora possibilitou uma análise

mais abrangente da disponibilidade operacional e da eficiência dos sistemas em diferentes contextos de operação.

6.4 Descobertas e Implicações

O estudo revelou, além da relação inversa entre o Índice de Impacto de Atrasos (IIA) e a Disponibilidade Operacional (Ao), a identificação de fatores críticos que contribuem para os atrasos administrativos e logísticos nos setores naval e aeroespacial. No setor naval, destacaram-se ineficiências no transporte e fornecimento de peças críticas, falhas na comunicação entre equipes administrativas e operacionais, além da complexidade na gestão de contratos e documentação. Já no setor aeroespacial, os principais fatores incluem altos tempos de espera para recursos técnicos especializados, a dependência de fornecedores internacionais, que agrava os atrasos logísticos, e estruturas organizacionais que dificultam a alocação eficiente de pessoal.

Esses achados enfatizam a necessidade de uma gestão integrada para mitigar os atrasos, reduzindo seus impactos sobre a disponibilidade operacional. O modelo proposto no estudo oferece uma abordagem robusta para quantificar e analisar esses fatores, possibilitando intervenções mais eficazes, otimização dos processos e uma gestão de recursos mais eficiente. A análise detalhada desses aspectos contribui para o desenvolvimento de estratégias mais direcionadas à melhoria da prontidão operacional em ambos os setores analisados.

Os resultados das simulações demonstraram de forma clara a eficácia do IIA e do cálculo alternativo da Ao para mensurar o impacto dos atrasos sobre a disponibilidade operacional. Em todos os cenários simulados, evidenciou-se a relação inversamente proporcional entre o aumento do IIA e a redução da Ao. Além disso, a aplicação do cálculo alternativo da Ao revelou-se fundamental para validar com maior precisão o impacto dos atrasos, ao integrar o IIA como um fator crucial na análise. Essa abordagem permitiu uma avaliação mais detalhada das perdas de disponibilidade operacional, especialmente em cenários caracterizados por maior severidade nos atrasos administrativos e logísticos.

6.5 Contribuições

Este trabalho trouxe contribuições significativas para o campo da gestão de manutenção e logística. O desenvolvimento do Índice de Impacto de Atrasos (IIA) e a implementação de um cálculo alternativo da Disponibilidade Operacional oferecem uma abordagem robusta para a análise de sistemas complexos e sua vulnerabilidade aos atrasos. O modelo proposto integra os atrasos administrativos e logísticos de forma prática e mensurável,

algo que é frequentemente negligenciado nas abordagens tradicionais de disponibilidade.

Além disso, uma das contribuições mais valiosas veio das sugestões de melhoria fornecidas nas respostas dos questionários. Muitos especialistas identificaram áreas críticas de operação que poderiam ser otimizadas para reduzir atrasos, como o aprimoramento da comunicação entre equipes de logística e manutenção, a melhoria no planejamento e na alocação de recursos, bem como a implementação de novas tecnologias para monitoramento em tempo real dos processos. Essas sugestões não apenas reforçam a aplicabilidade prática do IIA, mas também oferecem diretrizes para intervenções estratégicas imediatas que podem reduzir o impacto dos atrasos, aumentando, assim, a disponibilidade operacional.

O IIA, combinado ao cálculo alternativo da Ao, fornece uma ferramenta quantitativa útil para auxiliar as organizações na tomada de decisões estratégicas. Com base nesses indicadores e nas sugestões fornecidas pelos especialistas, gestores podem priorizar áreas críticas e implementar ações corretivas para reduzir os impactos dos atrasos e, conseqüentemente, melhorar a continuidade operacional dos sistemas.

6.6 Limitações

Embora os resultados tenham sido significativos, algumas limitações precisam ser reconhecidas. O modelo foi baseado em um número limitado de dados oriundos de questionários, o que pode introduzir algum grau de subjetividade na avaliação dos atrasos. Além disso, a coleta e mensuração precisa dos dados de atrasos podem ser um desafio em operações reais, onde muitos dos eventos não são devidamente registrados, dificultando a obtenção de informações confiáveis.

Outro ponto a ser considerado é a fixação do Tempo Médio de Manutenção Ativa (AMT) em 300 horas, o que pode não refletir adequadamente a variação real dos tempos de manutenção em diferentes contextos operacionais. A utilização de um valor base para a conversão dos pesos dos questionários em horas de atraso foi eficaz neste estudo, mas pode não ser adequada para outras indústrias ou condições operacionais.

6.7 Recomendações para Trabalhos Futuros

O desenvolvimento do IIA e o cálculo alternativo da Ao abrem diversas oportunidades de pesquisa para trabalhos futuros. Uma recomendação essencial é a aplicação desse modelo em ambientes operacionais reais, onde os atrasos administrativos e logísticos possam ser medidos diretamente, sem depender exclusivamente de questionários. Isso melhoraria

a acurácia do IIA e possibilitaria uma validação ainda mais robusta do modelo, com dados reais de operações contínuas.

Além disso, a aplicação das principais estratégias identificadas nas respostas do mapeamento sistemático é uma direção importante. Estratégias como a manutenção baseada no tempo (TBM), que envolve intervenções programadas, e a manutenção preditiva, que se baseia na antecipação de falhas com dados operacionais em tempo real, mostraram-se eficazes para mitigar os atrasos e aumentar a disponibilidade operacional. A adoção dessas práticas em conjunto com o IIA pode proporcionar uma gestão mais eficiente dos sistemas, minimizando o impacto de atrasos tanto administrativos quanto logísticos.

Uma recomendação adicional seria o desenvolvimento de uma escala de maturidade do IIA, permitindo que as organizações avaliem o seu nível de gestão de atrasos e a eficiência de suas estratégias operacionais. Essa escala poderia classificar os sistemas operacionais em diferentes níveis, desde uma gestão básica e reativa dos atrasos até níveis avançados de controle, com práticas de manutenção preditiva e soluções integradas, que minimizariam drasticamente os impactos sobre a disponibilidade operacional. Essa ferramenta prática poderia ser utilizada como um guia para que as organizações aprimorem suas práticas de gestão de atrasos, utilizando o IIA como métrica de evolução.

Além disso, o uso de tecnologias preditivas, como o aprendizado de máquina, é uma área promissora. Incorporar essas tecnologias ao modelo de IIA poderia transformá-lo em uma ferramenta preditiva, capaz de antecipar falhas e prevenir atrasos, proporcionando às organizações a capacidade de agir de forma proativa. A criação de uma base de dados histórica sobre atrasos e o desenvolvimento de algoritmos preditivos poderiam ampliar a aplicação do IIA para além da análise retrospectiva, fornecendo uma visão mais estratégica e preventiva.

Essas linhas de pesquisa futuras não apenas expandem o escopo do IIA e do cálculo alternativo da Ao, mas também têm o potencial de fortalecer as práticas operacionais nos setores naval, aeroespacial e outros setores industriais, garantindo que as organizações tenham as ferramentas necessárias para enfrentar os desafios de atrasos de maneira eficiente e eficaz.

Referências

ABNT, N. 5462. confiabilidade e manutenibilidade. **Rio de Janeiro**, p. 6, 1994.

AEROSPACE; DEFENCE. **SX000i, International Specification for Integrated Product Support (IPS), Issue 3.0: S-Series 2021 Block Release**. Editorial Dragón, 2022. ISBN 9788419125194. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=mRlFzwEACAAJ>.

BANKS, J.; LEBOLD, M.; REICHARD, K.; HINES, J.; BROUGHT, M. Platform degrader analysis for the complex systems for the design and application of condition based maintenance. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2014. Cited By 2. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84904015758doi=10-1109%2fAERO.2014.6836443partnerID=40md5=c456b024f5623adeaacd979a25a60484](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84904015758doi=10.1109%2fAERO.2014.6836443partnerID=40md5=c456b024f5623adeaacd979a25a60484).

BERKOWITZ, D.; GUPTA, J.; SIMPSON, J.; MCWILLIAMS, J. Defining and implementing performance-based logistics in government. **Defense Acquisition Review Journal**, v. 11, p. 14, 03 2005.

BLANCHARD, B. **Logistics Engineering and Management**. Prentice Hall, 1998. (Prentice-Hall international series in industrial and systems engineering). ISBN 9780139053160. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=jrFQAAAAYAAJ>.

BLANCHARD, B.; VERMA, D.; PETERSON, E. **Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management**. Wiley, 1995. (New Dimensions In Engineering Series). ISBN 9780471591320. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=7B02w3If-GIC>.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J.; FABRYCKY, W. J. **Systems engineering and analysis**. [S.l.]: Prentice hall Englewood Cliffs, NJ, 1990.

CONLON, J.; LILIUS, W.; TUBBESING, F.; TEST, U. S. O. of the D. D.; EVALUATION; RESEARCH, U. S. O. of the Under Secretary of Defense for; ENGINEERING; ACTIVITY, U. A. M. S. A.; ACTIVITY, U. S. A. M. E. T. **Test and Evaluation of System Reliability, Availability, Maintainability: A Primer**. Office of the Director, Defense Test and Evaluation, Under Secretary of Defense for Research and Engineering, 1982. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=9Mk0mfmWiDoC>.

DELL'ISOLA, A.; VENDITTELLI, A. Operational availability (ao) of warships: A complex problem from concept to in service phase. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*,

2015. p. 26–32. Cited By 10. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84941358518doi=10.1109%2fMetroAeroSpace.2015-7180621partnerID=40md5=01aebf7379aa34792f2c934f6c203a2e>.

DING, J.; CHEN, S.; ZENG, M. Analysis and development of the integrated system of operation maintenance support for helicopter. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2017. Cited By 0. Available at:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85015704258doi=10-1109%2fPHM.2016.7819868partnerID=40md5=4f5486704b5e06e635d0ac8a17d00baf>.

DONKELAAR, A. van. Improving the operational availability of the ships of the royal netherlands navy. 2017.

DUMA, W.; KRIEG, K. Dod guide for achieving reliability, availability, and maintainability. **Department of Defense in United States of America, Alexandria, VA, USA**, 2005.

FILIPPI, M.; D'AMBROGIO, A.; LISI, M. A service systems engineering framework with application to performance based logistics. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2015. p. 311–317. Cited By 2. Available at:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84954536711doi=10-1109%2fSysEng.2015.7302775partnerID=40md5=8a8e79fa9b71b254a0de908c28cf82e4>.

FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.; MAISANO, D. **Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007.

HOLLICK, L. Achieving shared accountability for operational availability attainment. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2009. p. 247–252. Cited By 7. Available at:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70349089286doi=10-1109%2fRAMS.2009.4914683partnerID=40md5=af2bcc8bf86f181f778211add862d4a5>.

HOSEINIE, S.; GHODRATI, B.; HOSSEINI, A. Availability analysis of drum shearer machine; a case study. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2015. p. 913–918. Cited By 1. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84934342865partnerID=40md5=040138f7e460c070253f520641bb76c4>.

HUANG, L.; CAO, J.; FU, Y.; WEI, S. Modeling of operational availability of offshore wind turbines. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2016. Cited By 0. Available at:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85015242507doi=10-1109%2fPMAPS.2016.7764123partnerID=40md5=730db3bd14df4593dc866111278c341f>.

INSTITUTION, B. S. **Maintenance: Maintenance Key Performance Indicators (BS EN 15341: 2007)**. [S.l.]: British Standards Institution London, England, 2007.

JIN, T.; TIAN, Y. Optimizing reliability and service parts logistics for a time-varying installed base. **European Journal of Operational Research**, v. 218, n. 1, p. 152–162, cited By 70, 2012. Available at:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-83955165294doi=10.1016%2fj-ejor.2011.10.026partnerID=40md5=f062100f028934b2170ce884a987161d>.

JIN, T.; XIANG, Y.; CASSADY, R. Understanding operational availability in performance-based logistics and maintenance services. *In: IEEE. 2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2013. p. 1–6.

JIN, T.; XIANG, Y.; TABOADA, H. Contracting for system availability under fleet expansion: Redundancy allocation or spares inventory? *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2017. Cited By 0. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018591223doi=10-1109%2fRAM.2017.7889766partnerID=40md5=aaada672e081b3e96d25319703be50b3](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018591223doi=10.1109%2fRAM.2017.7889766partnerID=40md5=aaada672e081b3e96d25319703be50b3).

JONES, J. V. **Integrated logistics support handbook**. [S.l.]: Sole Logistics Press/McGraw-Hill, 2006.

KANG, K.; GUE, K. R.; EATON, D. R. Cycle time reduction for naval aviation depots. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 1998. v. 1, p. 907–912. Cited By 13. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0032284158partnerID=40md5=831570e97f8e24678a8dfa8a0a9b6d29>.

KANG, K.; MCDONALD, M. Impact of logistics on readiness and life cycle cost: A design of experiments approach. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2010. p. 1336–1346. Cited By 11. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79951611402doi=10-1109%2fWSC.2010.5679057partnerID=40md5=20e4358d401d0b2d49f4ad767f4065b8](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79951611402doi=10.1109%2fWSC.2010.5679057partnerID=40md5=20e4358d401d0b2d49f4ad767f4065b8).

KEELE, S. *et al.* **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. [S.l.]: Technical report, ver. 2.3 ebse technical report. ebse, 2007.

KUMAR, U.; GALAR, D.; PARIDA, A.; STENSTRÖM, C.; BERGES, L. Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, p. 233 – 277, cited by: 171; All Open Access, Green Open Access, 2013. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883410654doi=10-1108%2fJQME-05-2013-0029partnerID=40md5=324c0a3dc01c9da1beb6d0091b66375b](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883410654doi=10.1108%2fJQME-05-2013-0029partnerID=40md5=324c0a3dc01c9da1beb6d0091b66375b).

KUMAR, U.; NOWICKI, D.; RAMÍREZ-MÁRQUEZ, J.; VERMA, D. A goal programming model for optimizing reliability, maintainability and supportability under performance based logistics. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, v. 14, n. 3, p. 251–261, cited By 20, 2007. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34547490088doi=10-1142%2fS0218539307002623partnerID=40md5=99b66ffe27bf0a26f53c6fdc419875a4](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34547490088doi=10.1142%2fS0218539307002623partnerID=40md5=99b66ffe27bf0a26f53c6fdc419875a4).

KUMAR, U. D.; KNEZEVIC, J. Supportability-critical factor on systems' operational availability. **International Journal of Quality & Reliability Management**, MCB UP Ltd, v. 15, n. 4, p. 366–376, 1998.

LEE, C.; MIN, G.; KIRITHARAN, M.; HONG, Y. Performance measurement framework for multi-role aircraft under performance based logistics. **Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED**, v. 4 DS75-04, p. 51–60, cited By 0, 2013. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84897636601partnerID=40md5=4096d2caf5dceb7428fbb2ead62b8c6e>.

- MANN, R.; RICH, P. Feasibility of provisioning spares using reliability software programs. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2010. Cited By 0. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77952757038doi=10-1109%2fRAMS.2010.5448065partnerID=40md5=d6b9904b89bc4e2c2bd26e25bc27a37a](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77952757038doi=10.1109%2fRAMS.2010.5448065partnerID=40md5=d6b9904b89bc4e2c2bd26e25bc27a37a).
- MOHANTY, R. Availability management: Concepts, evaluation and strategic directions. **international journal of quality reliability management**, v. 8, n. 4, cited by: 2, 1991. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84869216911doi=10-1108%2f02656719110003694partnerID=40md5=cb7630f7a3284636d88bc7c7cb737947](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84869216911doi=10.1108%2f02656719110003694partnerID=40md5=cb7630f7a3284636d88bc7c7cb737947).
- MURTY, A.; NAIKAN, V. Availability and maintenance cost optimization of a production plant. **International Journal of Quality Reliability Management**, v. 12, n. 2, p. 28 – 35, cited by: 24, 1995. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-27744474286doi=10-1108%2f02656719510080596partnerID=40md5=e2c48f46173ff03045da03cb1ce6a8f2](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-27744474286doi=10.1108%2f02656719510080596partnerID=40md5=e2c48f46173ff03045da03cb1ce6a8f2).
- PARIDA, A.; CHATTOPADHYAY, G. Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (mpm). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 13, n. 3, p. 241 – 258, cited by: 147, 2007. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34547850627doi=10-1108%2f13552510710780276partnerID=40md5=fcd92b3cddb208d5d42afe85f8bbdaa5](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34547850627doi=10.1108%2f13552510710780276partnerID=40md5=fcd92b3cddb208d5d42afe85f8bbdaa5).
- PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and software technology**, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015.
- PIRBHULAL, S.; GKIOULOS, V.; KATSIKAS, S. A systematic literature review on rams analysis for critical infrastructures protection. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 33, p. 100427, 2021. ISSN 1874-5482. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548221000196>.
- SHERBROOKE, C. **Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques**. Springer US, 2006. (International Series in Operations Research & Management Science). ISBN 9781402078651. Available at: https://books.google.com.br/books?id=_aESBwAAQBAJ.
- SONG, Y.; YANG, J.-H. Simulation of dynamics behaviors for shipping equipment support with system dynamics analysis approach. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 8, n. 3, p. 636–657, cited By 7, 2015. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84937859482doi=10-3926%2fjiem.1345partnerID=40md5=d182aefbe58804c11bae877b67d18aad](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84937859482doi=10.3926%2fjiem.1345partnerID=40md5=d182aefbe58804c11bae877b67d18aad).
- STAPELBERG, R. **Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design**. Springer London, 2009. ISBN 9781848001756. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=b4UudC1EIIoC>.
- WARD, M.; LAM, J.; STEWART, B. Quantifying expected gains from implementing a prognostics algorithm on systems with long logistics delay times. *In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2015. Cited By 2. Available at: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84957927113doi=10-1109%2fICPHM.2015.7245063partnerID=40md5=df9ae174ef60b30b2859db770b824e37](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84957927113doi=10.1109%2fICPHM.2015.7245063partnerID=40md5=df9ae174ef60b30b2859db770b824e37).

WIREMAN, T. **Developing performance indicators for managing maintenance**. [S.l.]: Industrial Press Inc., 2005.

XIE, W.; LIAO, H.; JIN, T. Maximizing system availability through joint decision on component redundancy and spares inventory. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 1, p. 164–176, cited By 83, 2014. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84898811513doi=10.1016%2fj-ejor.2014.02.031partnerID=40md5=7058cef0d3376378f907a85a75ae3383>.

Apêndice A - Estudos Seleccionados

ID	Título do Estudo Primário	Autor(s)	Ano
EP 1	A service Systems Engineering framework with application to performance based logistics	Filippi, M. D'Ambrogio, A. Lisi, M.	2015
EP 2	Achieving shared accountability for operational availability attainment	Hollick, L.J.	2009
EP 3	Analysis and Development of the Integrated System of Operation Maintenance Support for Helicopter	Ding, J., Chen, S., Zeng, M.	2017
EP 4	Contracting for System Availability under Fleet Expansion: Redundancy Allocation or Spares Inventory	Jin, T., Xiang, Y., Taboada, H.	2017
EP 5	Feasibility of Provisioning Spares Using Reliability Software Programs	Mann, R.A., Rich, P.C.	2010
EP 6	Impact of logistics on readiness and life cycle cost: a design of experiments approach	Kang, K., McDonald, M.	2010
EP 7	Maximizing system availability through joint decision on component redundancy and spares inventory	Xie, W., Liao, H., Jin, T.	2014
EP 8	Operational Availability (Ao) of Warships a complex problem from concept to in service phase	Dell'Isola, A., Vendittelli, A.	2015
EP 9	Optimizing reliability and service parts logistics for a time-varying installed base	Jin, T., Tian, Y.	2012
EP 10	Performance measurement framework for multi-role aircraft under performance based logistics	Lee, C.H., Min, G.K., Kiritharan, M., Hong, Y.S.	2013
EP 11	Platform Degradation Analysis for the Complex Systems for the Design and Application of Condition Based Maintenance	Banks, J.C., Lebold, M., Reichard, K.M., Hines, J.A., Brought, M.S.	2014
EP 12	Quantifying Expected Gains from Implementing a Prognostics Algorithm on Systems with Long Logistics Delay Times	Ward, M., Lam, J., Stewart, B.	2015
EP 13	Understanding Operational Availability in Performance-Based Logistics and Maintenance Services	Jin, T., Xiang, Y., Cassady, R.	2013
EP 14	Improving the computational efficiency of metric-based spares algorithms	Nowicki, D.R., Randall, W.S., Ramirez-Marquez, J.E.	2012
EP 15	Availability Analysis of Drum Shearer Machine; a Case Study	Hoseinie, S.H., Ghodrati, B., Hosseini, A.	2015
EP 16	Improving Autonomic Logistic analysis by including the production compliancy status as initial degradation state	De Francesco, E., De Francesco, E., De Francesco, R., Leccese, F., Cagnetti, M.	2016
EP 17	Modeling of Operational Availability of Offshore Wind Turbines	Huang, L., Cao, J., Fu, Y., Wei, S.	2016
EP 18	Modelling for Availability of a Reliability based System using Monte Carlo Simulation and Markov Chain Analysis	Sonawane, B.U., Ahuja, B.B.	2009
EP 19	Simulation of Dynamics Behaviors for Shipping Equipment Support with System Dynamics Analysis Approach	Song, Y., Yang, J.-H.	2015
EP 20	A Decision Support Model for Valuing Proposed Improvements in Component Reliability	Kang, K., Doerr, K.H., Apte, U., Boudreau, M.	2010
EP 21	Cycle Time Reduction for Naval Aviation Depots	Kang, Keebom, Gue, Kevin R., Eaton, Donald R.	1998
EP 22	A Goal Programming Model for Optimizing Reliability, Maintainability and Supportability under Performance Based Logistics	Kumar, U.D., Nowicki, D., Ramirez-Márquez, J.E., Verma, D.	2007
EP 23	Achieving quality through supportability Part II Mathematical modelling	Smith, C., Knezevic, J.	1996

Apêndice B - Síntese dos Estudos Seleccionados

EP 1: A service Systems Engineering framework with application to performance based logistics - Filippi, M., D'Ambrogio, A., Lisi, M. - 2015

O artigo foca nos atrasos logísticos e administrativos e sua influência na disponibilidade operacional, identificando pontos críticos em relação aos elementos de materiais, habilidades e ferramentas. O artigo destaca como os atrasos na obtenção de materiais essenciais podem comprometer significativamente a prontidão operacional dos sistemas. Essa questão é acentuada pela gestão ineficiente de estoque ou por falhas na cadeia de suprimentos, ressaltando a importância de uma logística bem planejada e adaptável às demandas variáveis.

Em relação às habilidades, o artigo enfatiza a necessidade de pessoal qualificado para operação e manutenção eficientes. A falta de treinamento adequado ou a indisponibilidade de especialistas pode atrasar significativamente as operações, afetando a disponibilidade operacional. Este ponto é particularmente importante em sistemas complexos, onde a expertise técnica específica é indispensável para diagnósticos rápidos e reparos eficazes.

Por fim, o artigo aborda o papel das ferramentas adequadas no suporte operacional. Atrasos na obtenção ou na manutenção de ferramentas essenciais podem levar a um aumento no tempo de inatividade do sistema. Este aspecto é muitas vezes subestimado na fase de planejamento, mas é vital para a manutenção e reparo eficientes. O artigo sugere que uma gestão eficaz desses três elementos - materiais, habilidades e ferramentas - é fundamental para minimizar atrasos logísticos e administrativos, melhorando assim a disponibilidade operacional dos sistemas. Uma abordagem integrada e proativa nesses aspectos é essencial para garantir a eficiência e a prontidão dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida.

EP 2: Achieving shared accountability for operational availability attainment - Hollick, L.J - 2009

O artigo foca nos atrasos logísticos e administrativos e sua influência na disponibilidade

operacional de itens finais complexos, como aeronaves. Primeiramente que a Ao é afetada por dois conjuntos de fatores: os relacionados ao design do item final e aqueles associados ao design dos serviços de manutenção. Atrasos administrativos e logísticos emergem como fatores críticos que impactam diretamente a Ao.

Os atrasos administrativos, impulsionados pelas políticas e procedimentos da organização, bem como pela competência dos indivíduos envolvidos, influenciam significativamente o tempo necessário para iniciar e realizar a manutenção efetivamente. Por exemplo, demoras na atribuição de tarefas a técnicos qualificados ou na obtenção de autorizações necessárias são exemplos de como a gestão ineficiente pode prolongar o tempo de inatividade do equipamento.

Por outro lado, os atrasos logísticos, relacionados à cadeia de suprimentos e à disponibilidade de recursos essenciais para a manutenção, como peças de reposição e equipamentos de suporte, são igualmente fundamentais. Ineficiências na cadeia de suprimentos, como falta de peças ou escassez de mão de obra qualificada, aumentam diretamente o tempo de manutenção, afetando negativamente a Ao. Assim, o artigo ressalta a importância de uma gestão eficiente e integrada dos aspectos logísticos e administrativos para otimizar a disponibilidade operacional, especialmente em contextos críticos onde a prontidão e eficácia operacional são essenciais.

EP 3 : Analysis and Development of the Integrated System of Operation Maintenance Support for Helicopter - Ding, J., Chen, S., Zeng, M.- 2017

Neste artigo, observa-se uma análise crítica sobre os desafios logísticos e administrativos enfrentados na manutenção de helicópteros. Primeiramente, destaca-se o impacto dos atrasos logísticos na disponibilidade operacional dos helicópteros. Embora haja avanços significativos no tempo médio entre falhas (MTBF) e no tempo médio de reparo (MTTR) graças a melhorias no design, a extensão do LDT por conta de atrasos no fornecimento de peças sobressalentes continua a ser um obstáculo significativo. Este fator impede um aumento substancial na disponibilidade operacional dos helicópteros.

Por fim, o artigo compara diferentes abordagens de manutenção: a manutenção baseada no tempo e a manutenção baseada em condição, proposta pelos Estados Unidos. Enquanto a manutenção baseada no tempo remove componentes de helicópteros em intervalos predeterminados, independentemente de sua condição operacional - levando a possíveis riscos de segurança e desperdício de vida útil - a manutenção baseada em condição sugere a substituição de componentes com base em sua condição operacional real, avaliada através de sistemas de prognóstico de falhas. Esta abordagem pode prolongar a vida operacional de componentes dinâmicos e garantir a segurança e eficácia da missão, apesar de potencialmente reduzir a vida útil de componentes aviônicos e eletromecânicos. A implementação de um sistema integrado de suporte de manutenção operacional é suge-

rida como uma solução para melhorar a disponibilidade operacional, reduzindo o tempo de manutenção e otimizando o suporte logístico.

EP 4: Contracting for System Availability under Fleet Expansion: Redundancy Allocation or Spares Inventory - Jin, T., Xiang, Y., Taboada, H. - 2017

O artigo analisado apresenta um estudo detalhado sobre a eficácia entre a alocação de redundância e o inventário de peças sobressalentes em garantir a disponibilidade do sistema em contratos de longo prazo baseados em desempenho, especialmente no setor de equipamentos semicondutores. A redundância de componentes emerge como uma estratégia preferível em condições específicas, como alta exigência de disponibilidade do sistema e em frotas maiores, onde a probabilidade de falhas simultâneas aumenta. Esta abordagem é contrastada com a manutenção de um inventário de peças sobressalentes, que, apesar de oferecer benefícios em termos de tempo de resposta a falhas, implica em maiores custos de capital e manutenção, além do risco de obsolescência do material.

Além disso, o artigo enfatiza a importância de um equilíbrio cuidadoso entre o nível de estoque de segurança e o custo do inventário para evitar atrasos e perdas de produção, especialmente considerando os custos associados a reparos de emergência. A decisão entre a adoção de redundância e o armazenamento de peças sobressalentes é influenciada pelo tamanho da frota, com a redundância sendo mais atraente em frotas maiores.

Em resumo, o artigo aborda os desafios logísticos e administrativos em garantir a disponibilidade do sistema, destacando a importância de análises detalhadas para determinar a estratégia mais eficiente em diferentes contextos operacionais.

EP 5: Feasibility of Provisioning Spares Using Reliability Software Programs - Mann, R.A., Rich, P.C - 2010

No contexto da disponibilidade operacional em sistemas de defesa, o artigo destaca a importância crítica do tempo de atraso logístico administrativo - *Administrative and Logistics Delay Time* (ALDT) e do tempo de atraso no fornecimento - *Supply Delay Time* (SDT). O ALDT incide sobre o tempo necessário para concluir procedimentos administrativos e obter pessoal de manutenção, um aspecto frequentemente subestimado que pode variar significativamente com base no tipo e localização da falha. Por exemplo, a documentação necessária e os processos para reparar um computador são distintos dos necessários para um gerador de energia elétrica, o que sugere que diferentes cenários de falha requerem abordagens administrativas diversificadas. Estes atrasos, seguindo uma distribuição de probabilidade, podem afetar adversamente o tempo total de inatividade do sistema, impactando diretamente a disponibilidade operacional.

Por outro lado, o SDT é um componente vital que se refere ao tempo necessário para transportar peças de reposição ao local de reparo. A eficiência deste elemento é fortemente influenciada pela estratégia de reposição adotada, que envolve fatores como

a proximidade e a quantidade de peças de reposição disponíveis. Uma estratégia bem planejada pode minimizar o tempo de inatividade de itens críticos, mantendo peças de reposição no local, enquanto itens menos críticos podem ser armazenados em depósitos remotos. Contudo, isso implica uma decisão estratégica entre manter um estoque excessivo, incorrendo em custos adicionais, ou arriscar uma escassez que prolongue o tempo de inatividade. Portanto, a quantidade ideal de peças de reposição e a localização estratégica são fundamentais para equilibrar a necessidade de prontidão operacional com a eficiência de custos.

Em resumo, o artigo ilustra como o ALDT e o SDT são elementos fundamentais na manutenção da disponibilidade operacional em sistemas de defesa. A gestão eficaz desses tempos de atraso não só garante a prontidão dos sistemas, mas também influencia significativamente os custos operacionais e a eficiência geral do processo de manutenção. Portanto, compreender e otimizar esses aspectos é essencial para atingir um equilíbrio entre disponibilidade operacional e eficiência de custos.

EP 6: Impact of logistics on readiness and life cycle cost: a design of experiments approach - Kang, K., McDonald, M. - 2010

A análise deste artigo revela pontos críticos em relação aos atrasos logísticos e administrativos, bem como a disponibilidade operacional no contexto do apoio logístico militar. A disponibilidade operacional, definida como a capacidade de um sistema de armas estar operacional e cumprir sua missão, é diretamente impactada por dois fatores-chave: a confiabilidade do sistema e a eficiência do processo de manutenção. Esta última engloba não apenas o tempo de reparo em si, mas também os atrasos administrativos e logísticos, que podem se tornar obstáculos significativos para alcançar uma alta prontidão operacional.

O processo de reparo, como descrito, envolve várias etapas que vão além da mera reparação do equipamento. A logística de transporte das peças defeituosas e de suas substituições, assim como a gestão eficiente de peças de reposição, são componentes críticos que influenciam o MDT. Atrasos neste processo, seja na obtenção de peças ou na logística de transporte, podem resultar em períodos prolongados de inatividade, afetando negativamente a prontidão do equipamento.

Interessante observar que o artigo sugere que o número de peças de reposição disponíveis não é um fator tão crítico quanto os outros mencionados. Isto implica que simplesmente aumentar o estoque de peças de reposição não é uma solução eficaz para melhorar a disponibilidade operacional. Ao invés disso, a ênfase deve ser colocada na melhoria da confiabilidade dos sistemas e na eficiência dos processos logísticos e administrativos. A utilização de simulações para modelar e analisar diferentes cenários e estratégias pode ser uma ferramenta valiosa para identificar as áreas que mais necessitam de melhorias, permitindo assim uma tomada de decisão mais informada e focada na maximização da

prontidão operacional.

EP 7: Maximizing system availability through joint decision on component redundancy and spares inventory - Xie, W., Liao, H., Jin, T. - 2014

O artigo aborda o impacto da confiabilidade dos componentes e da eficiência na gestão de redundâncias e peças sobressalentes. Ressalta-se que a disponibilidade operacional não depende unicamente da disponibilidade de peças sobressalentes, mas também de uma estratégia eficaz de redundância. O artigo ilustra que a incorporação de um modo de operação em espera ativa pode manter alta a disponibilidade operacional, mesmo com uma disponibilidade limitada de peças sobressalentes. Esta observação desafia a crença tradicional de que a disponibilidade operacional é diretamente proporcional à disponibilidade de peças.

Por outro lado, é enfatizado que atrasos na reposição de peças sobressalentes podem gerar impactos significativos na disponibilidade operacional, especialmente em sistemas com menor redundância. Portanto, uma gestão logística eficiente é vital. Estratégias como modelos otimizados de inventário são essenciais para minimizar os atrasos e assegurar a pronta disponibilidade de peças sobressalentes.

Em conclusão, o artigo destaca a necessidade de uma abordagem integrada na gestão de sistemas reparáveis. A consideração conjunta da confiabilidade dos componentes, da redundância do sistema e da logística de peças sobressalentes é fundamental para otimizar a disponibilidade operacional, evitando decisões ruins que possam comprometer o desempenho do sistema.

EP 8: Operational Availability (Ao) of Warships a complex problem from concept to in service phase - Dell'Isola, A., Vendittelli, A - 2015

Neste artigo, a ênfase é dada aos desafios logísticos e administrativos na manutenção da disponibilidade operacional, especialmente em contextos militares, como é o caso dos Navios de Guerra. A partir da análise do texto, fica claro que os fatores de suporte logístico são fundamentais para garantir a eficácia e a prontidão operacional desses sistemas complexos. Esses fatores incluem, mas não se limitam à, habilidade do pessoal, treinamento adequado, fornecimento eficiente de peças sobressalentes e a disponibilidade de manuais técnicos atualizados.

Um aspecto crítico abordado é o design de elementos de suporte. O dimensionamento correto de peças de reposição e a disponibilidade de Ferramentas Especiais e Equipamentos de Teste, além de treinamento e auxílios de treinamento adequados, são essenciais durante a fase operacional. Esses elementos não apenas influenciam diretamente a disponibilidade operacional, mas também a eficiência da manutenção e a capacidade de resposta a falhas ou necessidades de reparo. A falta de planejamento adequado e de recursos nessas áreas pode levar a atrasos significativos, impactando negativamente a prontidão operacional dos

navios.

Além disso, a análise de implementação para avaliar e adaptar as instalações e capacidades do cliente é um fator importante para o sucesso operacional. Ajustar a infraestrutura e os recursos do cliente para suportar efetivamente o produto em serviço pode minimizar os atrasos operacionais e logísticos. Isso inclui a avaliação de necessidades de treinamento, a adequação das instalações de manutenção e a atualização dos sistemas de informação. Portanto, uma gestão logística e administrativa eficaz, que considera todos esses aspectos, é fundamental para assegurar a disponibilidade operacional dos Navios de Guerra, evitando atrasos desnecessários e maximizando a eficiência operacional.

EP 9: Optimizing reliability and service parts logistics for a time-varying installed base - Jin, T., Tian, Y - 2012

O artigo em análise oferece uma visão detalhada do modelo de Contratação Baseada em Desempenho (*Performance Based Contracting* - PBC), ilustrando sua eficácia na otimização da confiabilidade e na redução dos custos de manutenção em setores vitais como defesa e aviação comercial. Este modelo, conhecido como Logística Baseada em Desempenho (*Performance Based Logistics* - PBL) no setor de defesa e "power by the hour" em companhias aéreas, marca uma inovação significativa nos métodos contratuais tradicionais. Ao focar no desempenho e disponibilidade do sistema, em vez de apenas nos materiais e mão de obra, o PBC motiva os fabricantes a investirem mais na confiabilidade durante a fase de design e fabricação. Isso se traduz em custos reduzidos de suporte e logística, abordando efetivamente os atrasos logísticos e administrativos que frequentemente assolam projetos grandes e complexos.

O artigo aborda também as estratégias para aprimorar a disponibilidade do sistema, concentrando-se na redução do tempo médio para reparos (MTTR) e no aumento do tempo médio entre falhas (MTBF). A redução do MTTR é essencial para mitigar atrasos logísticos, onde fatores como diagnóstico de falhas, níveis de estoque de peças sobressalentes e tempos de entrega são importantes. Da mesma forma, o aumento do MTBF é vital para a disponibilidade operacional, com abordagens focadas na alocação de redundância e confiabilidade. Estas medidas são fundamentais na otimização da logística, evidenciando a necessidade de modelos eficientes de gestão de inventário e estratégias de manutenção que priorizem a confiabilidade do sistema.

Por fim, o artigo explora o PBC sob a ótica de um serviço de garantia vitalícia, destacando a importância de incorporar custos indiretos e perdas de tempo de inatividade nos modelos de garantia. Tradicionalmente, esses modelos têm favorecido os interesses econômicos dos fabricantes, mas há uma necessidade crescente de reexaminar e ajustar esses modelos para refletir melhor os custos e inconvenientes suportados pelos clientes. Em resumo, o modelo PBC se apresenta como uma abordagem inovadora e eficaz para

enfrentar desafios administrativos e logísticos, assegurando a disponibilidade operacional de sistemas críticos em diversos setores.

EP 10: Performance measurement framework for multi-role aircraft under performance based logistics - Lee, C.H., Min, G.K., Kiritharan, M., Hong, Y.S. - 2013

O artigo em análise oferece uma perspectiva detalhada sobre os desafios logísticos e administrativos nos sistemas de serviço pós-venda para equipamentos de capital, como aeronaves multifuncionais, focando-se principalmente nas modalidades de contrato tradicional baseado em tempo e material (TeMC) e na logística baseada em desempenho (PBL). A discussão começa destacando as limitações do modelo TeMC, onde o fornecedor é remunerado com base na quantidade de recursos utilizados para reparar o equipamento. Este modelo apresenta falhas significativas, pois não incentiva a melhoria na confiabilidade dos equipamentos, levando a frequentes atrasos logísticos e administrativos. Tais atrasos são críticos especialmente em equipamentos de alta importância operacional, como sistemas de armas e aeronaves, onde o tempo de inatividade pode ter consequências severas e onerosas.

Por outro lado, o modelo PBL, que tem ganhado popularidade recentemente, propõe uma abordagem diferente, remunerando os fornecedores com base no desempenho do equipamento. Embora essa abordagem incentive a melhoria na confiabilidade e potencialmente reduza os atrasos operacionais, ela traz consigo o desafio de estabelecer métodos precisos e justos para medir o desempenho, especialmente em sistemas complexos como aeronaves multifuncionais. Estas aeronaves, ao contrário das de função única, consistem em numerosos subsistemas e são capazes de realizar diversas missões, o que dificulta a medição da disponibilidade operacional. A definição correta de métricas de desempenho é de extrema importância, pois impacta diretamente na eficiência e na eficácia do serviço prestado, além de influenciar as decisões financeiras e operacionais tanto dos fornecedores quanto dos clientes.

Finalmente, o artigo destaca a importância de se ter um processo de decisão bem elaborado e rápido no Departamento de Defesa, especialmente ao escolher e comprar aeronaves. Este processo deve levar em conta não apenas aspectos técnicos, mas também considerações políticas e econômicas, dada a realidade de restrições orçamentárias enfrentadas por muitos países. A escolha adequada de aeronaves, portanto, não deve se basear apenas na redução de custos, mas sim em uma avaliação criteriosa que balanceie as necessidades operacionais com a eficiência financeira. Isso evidencia a complexidade das decisões no âmbito da defesa, onde a logística e a disponibilidade operacional desempenham papéis fundamentais.

EP 11: Platform Degradation Analysis for the Complex Systems for the Design and Application of Condition Based Maintenance - Banks, J.C., Lebold, M., Reichard, K.M.,

Hines, J.A., Brought, M.S. - 2014

O artigo analisado aborda as complexidades enfrentadas na manutenção de veículos militares, com ênfase nos tanques M1 Abrams e Veículos de Combate M2/M3 Bradley, destacando a aplicação de Sistemas de Gestão de Saúde de Veículos (Vehicle Health Management System - VHMS) para aprimorar a eficiência dos mantenedores e a disponibilidade operacional. Um problema central identificado é a predominância de atrasos logísticos e administrativos resultantes das práticas de manutenção reativa e preventiva adotadas pelo Exército dos Estados Unidos. Essas abordagens frequentemente conduzem a reparos não programados, que são mais custosos e demorados, evidenciando uma necessidade de revisão dos processos de manutenção.

O artigo propõe a manutenção baseada em condições (Condition-Based Maintenance - CBM) como uma solução eficaz para esses desafios. Diferente das metodologias reativa e preventiva, a CBM enfoca a realização de manutenção somente com base em evidências específicas de necessidade, permitindo uma programação mais eficiente e reduzindo os atrasos. A implementação de VHMS desempenha um papel importante nesta abordagem, fornecendo diagnósticos precisos e previsões de falhas que facilitam intervenções oportunas e minimizam interrupções operacionais. Contudo, a transição para a CBM enfrenta desafios, incluindo custos iniciais elevados e a necessidade de expertise técnica avançada.

O artigo conclui que, apesar dos desafios, a combinação de diferentes filosofias de manutenção, incluindo CBM auxiliada por VHMS, pode oferecer uma estratégia mais eficiente e eficaz para a manutenção de veículos militares. Esta abordagem balanceada tem o potencial de melhorar significativamente a disponibilidade operacional dos veículos, reduzindo simultaneamente os atrasos logísticos e administrativos associados à manutenção. A Análise de Degradação do Veículo sugere que a integração de tecnologias avançadas e estratégias de manutenção adaptativas é fundamental para enfrentar as complexidades do contexto militar moderno.

EP 12: Quantifying Expected Gains from Implementing a Prognostics Algorithm on Systems with Long Logistics Delay Times - Ward, M., Lam, J., Stewart, B. - 2015

No artigo em questão, a ênfase é dada aos desafios enfrentados devido a atrasos logísticos e administrativos, bem como à importância da disponibilidade operacional em sistemas complexos, com foco especial no setor de defesa e na implementação de Prognósticos e Gestão de Saúde. A análise da Vida Útil Restante (VUR) é vital para antecipar falhas e necessidades de substituição de componentes, visando a redução do tempo de inatividade do sistema devido a atrasos logísticos e administrativos. O artigo enfatiza que, para sistemas onde o tempo logístico é um fator crítico de inatividade, o prognóstico pode trazer melhorias substanciais na disponibilidade operacional.

O estudo apresenta um modelo teórico que demonstra como a implementação de um

algoritmo de prognósticos pode modificar o cronograma de eventos de falha operacional e afetar diretamente a Disponibilidade Operacional. Este aspecto é importante, pois a Ao é uma métrica que interliga confiabilidade do sistema, manutenibilidade e requisitos de suporte. A análise mostra que previsões precisas de VUR que reduzem os tempos de atraso administrativo e logístico são fundamentais para aumentar a Ao. O artigo também traz um estudo de caso de um sistema hipotético, ilustrando como a implementação de prognósticos influencia as métricas de confiabilidade do sistema e destacando a proposta de duas novas métricas - Redução Relativa do Tempo de Inatividade e Ganho Relativo de Disponibilidade - para quantificar os ganhos em nível de sistema.

EP 13: Understanding Operational Availability in Performance Based Logistics and Maintenance Services - Jin, T., Xiang, Y., Cassady, R - 2013

O artigo analisa a interação entre diferentes fatores logísticos e administrativos e seu impacto na disponibilidade operacional sob um contrato de serviços baseado em desempenho. Esta abordagem inclui elementos como peças sobressalentes, mão de obra, custos de treinamento, tamanho das instalações e frota de transporte, cada um com seu papel específico na otimização do desempenho.

O manejo eficiente de peças sobressalentes é vital, pois, contrariando a noção tradicional, o estudo mostra que a alta disponibilidade operacional pode ser mantida mesmo com uma baixa disponibilidade de peças. Isso sugere que a gestão inteligente de estoque e a rápida reposição de peças são mais determinantes do que a quantidade armazenada. A mão de obra qualificada e os custos associados ao treinamento são igualmente importantes, pois uma equipe bem treinada reduz o tempo de manutenção e melhora a eficiência dos processos. Da mesma forma, instalações adequadas permitem um armazenamento e manutenção mais eficazes, impactando positivamente a prontidão operacional.

Além disso, a frota de transporte desempenha um papel vital na minimização dos atrasos logísticos, especialmente em cenários onde componentes precisam ser rapidamente realocados. Uma frota bem gerenciada assegura que as peças e equipamentos estejam disponíveis onde e quando necessário, contribuindo significativamente para a manutenção da disponibilidade operacional.

EP 14: Improving the computational efficiency of metric-based spares algorithms - Nowicki, D.R., Randall, W.S., Ramirez-Marquez, J.E. - 2012

O novo algoritmo heurístico proposto para melhorar a eficiência computacional da Técnica Multi-Escalão para Controle de Itens Recuperáveis (METRIC) traz uma perspectiva inovadora para o gerenciamento de atrasos logísticos e administrativos nas indústrias de defesa e aeroespacial. Este estudo foca em aprimorar a decisão estratégica sobre a localização e a quantidade de peças sobressalentes, uma questão central para maximizar a disponibilidade operacional dos sistemas dentro de restrições orçamentárias. A eficiência

deste modelo heurístico, quando comparado com as abordagens tradicionais, reside na sua capacidade de otimizar recursos em sistemas complexos e de grande escala, reduzindo significativamente os atrasos causados por ineficiências na cadeia logística.

No segundo aspecto, a pesquisa aborda a complexidade administrativa associada à gestão de peças sobressalentes. O desafio logístico não se limita apenas à alocação física das peças, mas também engloba a gestão de informações, orçamentos e coordenação entre diferentes níveis de manutenção e suporte. O algoritmo proposto, ao otimizar a alocação de recursos, visa não somente a redução de custos, mas também a melhoria na disponibilidade operacional. Essa abordagem é vital para garantir que os sistemas se mantenham funcionais e prontos para uso, minimizando períodos de inatividade e atrasos na manutenção.

Por fim, a adoção crescente da logística baseada em desempenho (PBL) nas indústrias mencionadas enfatiza a relevância deste estudo. O PBL foca na otimização do desempenho operacional em detrimento de uma simples gestão de estoque, o que alinha perfeitamente com os objetivos do algoritmo METRIC. Nesse sentido, a implementação desse novo algoritmo pode representar um avanço significativo, ao integrar a logística e a administração de forma mais eficiente e orientada a resultados.

EP 15: Availability Analysis of Drum Shearer Machine; a Case Study - Hoseinie, S.H., Ghodrati, B., Hosseini, A. - 2015

Neste artigo, a análise da disponibilidade operacional da máquina shearer revela aspectos fundamentais para a eficiência do sistema. A alta disponibilidade da máquina, conforme destacado, indica uma performance robusta em suas funções. Entretanto, é importante enfatizar que os atrasos logísticos e administrativos, correspondentes a 25 % dos períodos de inatividade, são elementos significativos que impactam negativamente a eficiência operacional. Esses atrasos, embora representem uma redução aparentemente pequena na disponibilidade geral (2,8%), têm uma influência desproporcional sobre o tempo de resposta e eficiência do sistema.

Os atrasos logísticos e administrativos não são simplesmente períodos de inatividade; eles são indicadores de possíveis falhas ou ineficiências nas práticas de manutenção e gestão. A disponibilidade operacional, incluindo todos os aspectos de tempo de inatividade, reflete a experiência real do cliente, o que torna essencial não apenas identificar, mas também estrategicamente minimizar esses atrasos.

Portanto, embora a máquina estudada demonstre uma alta disponibilidade, é imperativo reconhecer e abordar os desafios logísticos e administrativos. Uma gestão mais eficaz desses aspectos poderia não apenas melhorar a disponibilidade operacional, mas também otimizar a experiência do usuário final. Isso implica na necessidade de uma revisão e melhoria contínua nos processos de manutenção e suporte, alinhando-os com as melhores

práticas e padrões da indústria, para assegurar uma operação mais eficiente e confiável.

EP 16: Improving Autonomic Logistic analysis by including the production compliancy status as initial degradation state - De Francesco, E., De Francesco, E., De Francesco, R., Leccese, F., Cagnetti, M. - 2016

O artigo ressalta que a Disponibilidade Operacional não depende apenas da prontidão intrínseca do sistema, mas também do seu sistema de suporte dedicado e da política implementada. Esse ponto é vital para entender como atrasos logísticos e administrativos podem impactar diretamente o tempo operacional efetivo de um sistema. Por exemplo, se um sistema possui alta Disponibilidade Intrínseca, mas o suporte logístico é deficiente ou a gestão administrativa é ineficaz, isso pode resultar em uma diminuição significativa da Disponibilidade Operacional. Isso indica a importância de uma coordenação eficaz entre todos os aspectos operacionais e administrativos para manter a alta disponibilidade dos sistemas.

Finalmente, o estudo contribui significativamente para o campo de logística ao enfatizar a importância de medir e gerenciar a Disponibilidade Operacional. A compreensão detalhada dos fatores que influenciam a disponibilidade permite às organizações identificar gargalos operacionais e logísticos e implementar estratégias para mitigar atrasos. Assim, a aplicação prática desses conceitos nas áreas de logística tem o potencial de aumentar a eficiência operacional, reduzindo o tempo de inatividade e maximizando a prontidão para missões e operações não planejadas.

EP 17: Modeling of Operational Availability of Offshore Wind Turbines - Huang, L., Cao, J., Fu, Y., Wei, S. - 2016

O artigo aborda desafios significativos enfrentados pelos aerogeradores offshore (*Wind Turbines* - WTs), enfatizando os atrasos logísticos e administrativos, assim como a disponibilidade operacional. Uma das principais questões destacadas é o impacto adverso das condições meteorológicas e oceânicas intensas, que aumentam as taxas de falha dos sistemas mecânicos e elétricos e reduzem a utilização das WTs. Este cenário é agravado pelo ambiente marinho hostil, que complica ainda mais a manutenção e operação eficiente dessas estruturas.

Outro ponto crítico mencionado no artigo é o alto índice de tempo de inatividade das WTs offshore devido a questões logísticas, representando cerca de 50 % de todos os desligamentos. Este dado ressalta a importância de revisar e aprimorar os processos de manutenção e logística em ambientes marítimos. A complexidade aumenta nas grandes fazendas eólicas offshore, onde a quantidade de aerogeradores exige recursos de manutenção substanciais, frequentemente insuficientes para atender a demanda.

Além disso, as condições climáticas offshore, como ventos fortes e ondas altas, impõem restrições adicionais às operações de manutenção, limitando-as a períodos específicos do

ano, como a primavera e o verão no Mar do Norte. A aplicação de modelos climáticos para planejar manutenções é sugerida, mas ainda há uma necessidade de integrar melhor essas variáveis nas estratégias de manutenção offshore. Em resumo, o artigo destaca a necessidade de desenvolvimento contínuo de soluções inovadoras para otimizar a disponibilidade operacional e a eficiência dos aerogeradores offshore, um elemento vital para a sustentabilidade da energia eólica offshore.

EP 18: Modelling for Availability of a Reliability based System using Monte Carlo Simulation and Markov Chain Analysis - Sonawane, B.U., Ahuja, B.B. - 2009

Neste artigo, a discussão sobre atrasos logísticos e administrativos no contexto de manutenção preventiva e preditiva em ambientes industriais é abordada com detalhes. A análise identifica claramente dois componentes principais que influenciam o aumento do Tempo Médio Total para Reparo (MTTR): a necessidade de equipe de manutenção (interna ou contratada externamente) e a aquisição de peças de reposição. Esses elementos são de extrema importância porque ambos podem introduzir atrasos significativos no processo, seja pelo tempo necessário para mobilizar recursos humanos adequados ou pela espera na entrega de componentes essenciais.

Além disso, o artigo menciona a indisponibilidade de equipamentos devido a falhas não detectadas, manutenções agendadas, e atrasos na aquisição de peças sobressalentes. Esses fatores são particularmente importantes, pois destacam como a gestão inadequada da manutenção e a ineficiência logística podem afetar diretamente a produtividade. O atraso na obtenção de peças sobressalentes, por exemplo, é um aspecto logístico que pode ter um impacto profundo na duração do MTTR, indicando falhas na cadeia de suprimentos e na gestão de inventário.

EP 19: Simulation of Dynamics Behaviors for Shipping Equipment Support with System Dynamics Analysis Approach - Song, Y., Yang, J.-H. - 2015

Neste artigo, a análise centra-se nos aspectos dos atrasos logísticos e administrativos, no planejamento de suporte de peças sobressalentes em contextos de operações navais, particularmente em navios de guerra. Uma das maiores preocupações identificadas é a falta de integração de fatores como custo de suporte, capacidade de emergência e políticas de manutenção, que são essenciais para a eficiência operacional e a prontidão dos navios. O método proposto neste estudo, envolvendo a manutenção de canibalização e a estratégia de agendamento de transbordo lateral, representa um avanço significativo, visando a otimização do suporte logístico e a redução dos tempos de inatividade.

A complexidade e a imprevisibilidade das falhas dos equipamentos em ambientes marítimos apresentam desafios adicionais. As peças sobressalentes são frequentemente sujeitas a condições adversas, como variações de temperatura e umidade, o que aumenta a taxa de falha e afeta negativamente a disponibilidade de peças. Este fator, juntamente com a limi-

tação na capacidade de manutenção a bordo dos navios de guerra, exige uma abordagem logística mais robusta e flexível. A estratégia de fornecimento de transporte lateral e a manutenção de canibalização são respostas práticas a esses desafios, mas também destacam a necessidade de uma gestão mais eficiente do inventário e das políticas de manutenção.

Por fim, a adoção de índices como a disponibilidade operacional para avaliar a política de suporte de peças sobressalentes é uma abordagem inovadora. Esses índices permitem uma melhor compreensão da relação entre a manutenção, a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, essenciais para a operacionalidade dos navios. O estudo, ao abordar a questão dos atrasos logísticos e administrativos, aponta para a necessidade de um sistema de suporte de peças sobressalentes mais integrado e adaptável, capaz de responder às exigências e imprevisibilidades do ambiente naval.

EP 20: A Decision Support Model for Valuing Proposed Improvements in Component Reliability - Kang, K., Doerr, K.H., Apte, U., Boudreau, M. - 2010

Neste artigo, a análise concentra-se na importância de estratégias logísticas e administrativas eficientes para manter e melhorar a disponibilidade operacional em sistemas de armas, utilizando como exemplo um esquadrão de aeronaves. O estudo hipotético destaca que, apesar de falhas em componentes não críticos não comprometerem diretamente a operabilidade do sistema, atrasos logísticos, especialmente no transporte de peças sobressalentes, podem ter um impacto significativo na Ao. Interessantemente, o aumento no número de peças sobressalentes não mostrou melhoria na Ao, revelando que simplesmente aumentar o estoque não é uma solução eficaz.

Por outro lado, a redução nos tempos de transporte demonstrou um aumento considerável na Ao, evidenciando que a eficiência logística é um fator vital. A redução do tempo de transporte de 4,5 dias para 1 dia resultou em um salto na Ao de 90,6% para 94,8%, e uma diminuição significativa na probabilidade de a Ao cair abaixo de 80%. Esses resultados sugerem que estratégias focadas em otimizar os processos logísticos, como a gestão de transporte e tempo de entrega, são mais efetivas para garantir a prontidão operacional do que aumentar indiscriminadamente o estoque de componentes.

Portanto, este estudo destaca a relevância de abordagens analíticas para identificar e mitigar atrasos logísticos e administrativos em operações militares. Demonstrando que, enquanto a gestão de estoque é importante, é a eficiência logística, especialmente em relação ao tempo de transporte, que desempenha um papel mais crítico na manutenção da Ao.

EP 21: Cycle Time Reduction for Naval Aviation Depots - Kang, Keebom, Gue, Kevin R., Eaton, Donald R. - 1998

O artigo analisado aborda as complexidades e os desafios logísticos e administrativos enfrentados pela aviação naval dos Estados Unidos, destacando a importância do suporte

logístico na manutenção da prontidão operacional. O foco é na otimização do tempo de ciclo nos Depósitos de Aviação Naval, que é vital para garantir que os sistemas de armas estejam disponíveis e operacionais. A redução do tempo de ciclo não só aumenta a disponibilidade das aeronaves, mas também representa uma economia significativa em termos de custos de inventário, um ponto crítico dada a magnitude dos recursos envolvidos.

O artigo também explora a relação intrínseca entre a disponibilidade de peças sobressalentes e o tempo de ciclo de reparo. Utilizando um modelo que simula a operação de um esquadrão de aeronaves, demonstra-se como a disponibilidade de peças sobressalentes impacta diretamente na prontidão operacional. Este aspecto é enfatizado através de dados que mostram como um aumento na disponibilidade de peças pode significativamente reduzir o tempo de ciclo e, conseqüentemente, melhorar a eficiência operacional. A análise sugere que investimentos estratégicos em inventário de peças sobressalentes podem levar a melhorias significativas na prontidão e na eficiência.

Por fim, o artigo salienta a importância de educar o pessoal logístico sobre a relevância da redução do tempo de ciclo para a prontidão da frota. A eficiência do processo de reparo na oficina, incluindo a disponibilidade de material necessário, é de extrema importância para minimizar atrasos. O aumento da disponibilidade inicial de material de 20% para 50%, conforme discutido, pode reduzir consideravelmente o tempo total de reparo. Essas informações realçam a necessidade de um sistema logístico mais eficaz e responsivo, enfatizando a complexa interação entre logística, administração e prontidão operacional na aviação naval.

EP 22: A Goal Programming Model for Optimizing Reliability, Maintainability and Supportability under Performance Based Logistics - Kumar, U.D., Nowicki, D., Ramírez-Márquez, J.E., Verma, D. - 2007

O artigo analisado aborda questões fundamentais na gestão logística e administrativa, enfatizando a importância da disponibilidade operacional e a otimização dos recursos de suporte em sistemas complexos. Inicialmente, destaca-se a definição da disponibilidade operacional como uma medida composta que integra as métricas críticas de confiabilidade (R), manutenibilidade (M) e suporte (S). Essa abordagem multidimensional é vital, pois reflete a complexidade e a interconexão dos desafios enfrentados no campo operacional.

O artigo explora profundamente a função do *Mean Logistic Delay Time* (MLDT) e sua relação com a espera por peças de reposição e outros recursos, como instalações e pessoal de manutenção. Aqui, a pesquisa concentra-se na identificação do número ótimo de peças de reposição, visando maximizar a disponibilidade destas sob uma restrição de custo. Este aspecto é crítico, pois atrasos na logística de peças de reposição podem levar a atrasos operacionais significativos, afetando diretamente a eficiência e eficácia dos sistemas em questão.

Por fim, o artigo aborda a pegada logística, um conceito que envolve a presença de suporte logístico para a operação e manutenção de sistemas de armas. A minimização da pegada logística, juntamente com outros objetivos como a redução do custo total de propriedade e a maximização da probabilidade de não faltar estoque, ressalta a necessidade de uma gestão eficiente e integrada dos recursos. A otimização simultânea de confiabilidade, manutenibilidade e suporte apresenta-se como um desafio, especialmente em contratos de Logística Baseada em Desempenho, onde é necessário equilibrar múltiplas metas, algumas vezes conflitantes. Este equilíbrio é vital para a tomada de decisões eficazes em aquisições e na administração de recursos, evidenciando a complexidade e a interdependência dos elementos logísticos e administrativos em sistemas operacionais avançados.

EP 23: Achieving quality through supportability Part II Mathematical modelling - Smith, C., Knezevic, J - 1996

Ao analisar o artigo que discute a importância da suportabilidade em relação à confiabilidade e manutenibilidade, é evidente que a disponibilidade operacional de um produto ou sistema é fortemente influenciada por fatores logísticos e administrativos. Os autores enfatizam a suportabilidade como um elemento chave na melhoria da qualidade dos produtos. Eles destacam que a suportabilidade é diretamente afetada por fatores logísticos dependentes do cliente, como a disponibilidade de peças de reposição e equipamentos de investimento de capital. Esses fatores logísticos, quando não gerenciados adequadamente, podem levar a atrasos significativos na operação e manutenção dos sistemas, impactando negativamente a disponibilidade operacional e, por conseguinte, a qualidade percebida do produto.

A fórmula para determinar a disponibilidade operacional (A_o), que inclui o MTTF (*Mean Time to Fail* - tempo médio até a falha), MTTR (*Mean Time to Repair* - tempo médio para reparo) e MTTS (*Mean Time to Support* - tempo médio para suporte), ilustra a complexidade e a interdependência dos três fatores - confiabilidade, manutenibilidade e suportabilidade. O modelo proposto no artigo, embora simplificado, destaca o impacto da competição por recursos compartilhados na suportabilidade. Isso é particularmente relevante em cenários onde há escassez de recursos, como peças de reposição, o que pode aumentar o tempo de inatividade do sistema devido a atrasos logísticos e administrativos.

Por fim, o artigo sugere que, embora a integração das preocupações de confiabilidade e manutenibilidade no *design* do produto esteja aumentando, a suportabilidade muitas vezes é negligenciada. No entanto, uma abordagem de engenharia de sistemas, que inclui a suportabilidade como um *driver* de *design*, pode melhorar significativamente a qualidade do produto. Em curto prazo, o desenvolvimento de modelos matemáticos para prever o impacto de diferentes cenários de recursos na disponibilidade operacional pode oferecer aos clientes ferramentas para melhorar a qualidade dos sistemas que adquirem. Assim, a análise do artigo reforça a necessidade de uma compreensão mais profunda e de um plane-

jamento estratégico na suportabilidade, especialmente em relação aos aspectos logísticos e administrativos, para melhorar a disponibilidade operacional dos sistemas.

Apêndice C - Questionário - Modelo de Indicadores de Disponibilidade de Sistemas: Uma Análise dos Atrasos Logísticos e Administrativos

FIGURA C.1 – Avaliação do Impacto dos Atrasos na Manutenção

Seção sobre Tempo Médio de Atrasos Logísticos ("Logistics Delay Time" - LDT)

4. Qual é o impacto no tempo relacionado ao processo de manutenção devido a atrasos na entrega de peças de reposição?

	1	2	3	4	5	
Muito Baixo	<input type="radio"/>	Muito Alto				

5. Qual é o impacto no custo relacionado ao processo de manutenção devido a atrasos na entrega de peças de reposição?

	1	2	3	4	5	
Muito Baixo	<input type="radio"/>	Muito Alto				

Fonte: os autores

FIGURA C.2 – Sugestões de Melhoria para Redução de Atrasos Logísticos e Administrativos

Seção de Feedback e Sugestões

26. Baseado em sua experiência, quais estratégias você recomendaria para reduzir os tempos de ADT e LDT em operações de manutenção?

Sua resposta

27. Há algum outro comentário que você gostaria de compartilhar sobre atrasos na manutenção?

Sua resposta

[Voltar](#) [Próxima](#)  Página 6 de 7 [Limpar formulário](#)

Fonte:os autores

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">24 de março de 2025</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-013/2025</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">126</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Um modelo de indicador para gestão dos atrasos administrativos e logísticos.</p>			
6. AUTOR(ES): <p>Amilton Carlos da Conceição Filho</p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Disponibilidade Operacional; Atrasos Logísticos; Atrasos Administrativos</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Desenvolvimento de software; Logística (administração); Indicadores de desempenho; Fatores de segurança; Sistemas complexos; Otimização; Computação.</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos. Orientador: Prof. Dr. Johnny Cardoso Marques. Defesa em 25/02/2025. Publicada em 2025.</p>			
11. RESUMO: <p>Este trabalho propõe um novo modelo de indicador para a gestão dos atrasos administrativos e logísticos, visando melhorar a disponibilidade operacional (Ao) em sistemas complexos, como os setores naval e aeroespacial. A disponibilidade operacional, tradicionalmente calculada pela relação entre o tempo médio entre manutenções (MTBM) e o tempo médio de inatividade (MDT), não considera adequadamente os impactos dos atrasos administrativos (ADT) e logísticos (LDT). Para superar essa limitação, foi desenvolvido o Índice de Impacto de Atrasos (IIA), que quantifica o impacto desses atrasos no tempo de inatividade. O IIA foi integrado a um cálculo alternativo da disponibilidade operacional, oferecendo uma visão mais realista do desempenho dos sistemas. A validação do modelo, realizada por meio de simulações em três cenários (Ótimo, Normal e Crítico) e questionários aplicados a especialistas, demonstrou a eficácia do IIA. A medição da disponibilidade operacional é vital em setores como defesa e aeroespacial, onde a prontidão impacta diretamente a segurança, a eficiência e os custos. O cálculo tradicional apresenta limitações, como a falta de diferenciação entre tipos de atrasos e a subestimação dos atrasos administrativos e logísticos, o que dificulta a identificação de causas específicas de ineficiências. O novo modelo, ao integrar o IIA, permite uma análise mais detalhada desses fatores, promovendo uma gestão mais proativa e orientada por dados. A aplicação prática nos setores naval e aeroespacial comprovou a relevância do modelo, destacando sua capacidade de melhorar a prontidão operacional, reduzir custos e otimizar a eficiência em ambientes complexos. Este trabalho contribui, assim, com uma ferramenta analítica para a gestão de sistemas de alta exigência.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO</p>			