

Impacto da Logística 4.0 na Gestão do Ciclo de Vida das Fragatas Classe "Tamandaré"

Autoria: C-ApA-IM-2023 – DAbM – 7

RESUMO

Na gestão do ciclo de vida dos Meios Navais, a Logística 4.0 surge como um pilar essencial para a modernização e eficiência operacional da Marinha do Brasil. Este estudo tem por objetivo verificar os impactos da utilização das ferramentas da Logística 4.0 na Gestão do Ciclo de Vida, utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP) para selecionar a tecnologia de Logística 4.0 mais alinhada às demandas das Fragatas Classe Tamandaré. A Disponibilidade Operacional, criteriosamente abordada no AHP, destaca-se como um fator de máxima relevância, alinhado ao Planejamento Estratégico da Marinha. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma ferramenta inovadora da Logística 4.0, podendo aprimorar a gestão do ciclo de vida dos Meios Navais. Ressalta-se, ainda, que as ferramentas de análise também podem desempenhar um papel significativo na Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa como um todo, otimizando os resultados operacionais.

Palavras-Chave: Gestão do Ciclo de Vida. Logística 4.0. Fragatas Classe Tamandaré. AHP.

1 INTRODUÇÃO

No contexto contemporâneo, a gestão eficaz do ciclo de vida dos ativos assume um papel preponderante no âmbito da logística e da indústria 4.0. Diante da dinâmica acelerada das tecnologias e dos desafios da otimização de recursos, torna-se imperativo compreender as nuances que permeiam esse domínio. Nesse contexto, o presente estudo é inserido como uma investigação de cunho aplicada, além da resolução de questões específicas relacionadas à operacionalidade de meios navais.

A pertinência desta pesquisa reside na conjunção de dois pilares cruciais para uma moderna gestão logística: o Ciclo de Vida e a Logística 4.0. A primeira, ancorada na concepção holística do ciclo de vida dos ativos, busca melhoria no uso e manutenção de recursos, enquanto a segunda, representada pela integração das tecnologias digitais, propicia um salto qualitativo na eficiência operacional. Ambas as abordagens convergem para a maximização do desempenho e prolongamento da vida útil dos meios navais, elementos exclusivos para as atividades de defesa e segurança.

Este trabalho propõe uma análise abrangente da aplicação da Logística 4.0 na Gestão do Ciclo de Vida (GCV) das Fragatas Classe “Tamandaré” (FCT), destacando sua importância estratégica para a Marinha do Brasil. O Planejamento Estratégico da Marinha (PEM-2040) estabeleceu como um de seus Objetivos Navais “Obter a Capacidade Operacional Plena” para todos os seus meios. Em decorrência deste objetivo, a Gestão do Ciclo de Vida passou a um patamar de destaque nos assuntos estratégicos (BRASIL, 2020a).

A aplicação da Logística 4.0 emerge como um fator transformador nesse contexto. O enfoque da pesquisa nas fases de Operação e Apoio das Fragatas Classe “Tamandaré” torna-se crucial não apenas para a manutenção da prontidão operativa, mas também com fito a aprimorar a eficiência operacional, reduzir os custos logísticos e fortalecer a confiabilidade do meio, visto que estas fases possuem relevância crítica para a eficiência e funcionalidade contínua desses meios de navegação

(DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY, 2010). Essas fases representam o período em que as Fragatas estarão em operação ativa, desempenhando suas funções estratégicas e táticas, além de exigirem suporte logístico constante para manter a prontidão operacional.

Este estudo surge em um momento-chave, explorando o potencial disruptivo das tecnologias emergentes no mundo empresarial, podendo ser aplicado na gestão naval, com foco em um caso de estudo emblemático: as Fragatas Classe “Tamandaré” da Marinha do Brasil, que ora ascende com meio moderno de renovação da Esquadra Brasileira (SANTANA, 2022).

A pesquisa se propõe a delinear uma metodologia embasada no Processo Hierárquico Analítico (AHP) de Saaty (1980), oferecendo uma estrutura sólida para avaliação e tomada de decisão em um contexto com diversos critérios.

O trabalho se concentrará nas tecnologias e práticas da Logística 4.0 que têm aplicabilidade direta na gestão do Ciclo de Vida das FCT, conforme as atividades de GCV apresentadas no Manual de Boas Práticas de Gestão do Ciclo de Vida (MD40-M-01-2020), como por exemplo, Internet das Coisas (IoT), Manufatura aditiva (Impressão 3D) e *Big Data*, excluindo outras tecnologias menos relevantes para a pesquisa, porém que, também, podem ser aplicadas na GCV.

Cumprido ressaltar que, embora esta pesquisa se concentre na esfera da gestão naval, seu caráter exploratório transcende o escopo específico, além de fornecer *insights* relevantes para a gestão do ciclo de vida em diferentes Sistemas de Defesa. Para tanto, recorre-se a uma abordagem metodológica que abarca Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Documental e Pesquisa de Campo, alicerçada em fontes primárias e secundárias de seleção adicional.

Diante desse panorama, o presente trabalho tem por escopo primordial analisar de que maneira a aplicação da Logística 4.0 pode impactar a Gestão do Ciclo de Vida das Fragatas Classe “Tamandaré” na Marinha do Brasil. No intuito de amparar o alcance do objetivo geral, o presente estudo apresenta os seguintes objetivos específicos:

- a) Apresentar os conceitos referentes à Gestão do Ciclo de Vida e à Logística 4.0;
- b) Demonstrar as Características e Emprego das Fragatas Classe “Tamandaré”;
- c) Avaliar a Implementação das Ferramentas da Logística 4.0 na Marinha do Brasil;
- d) Examinar Impactos na Eficiência Operacional do Meio, nas Manutenções e no Apoio Logístico realizado ao Meio; e
- e) Aplicar o método AHP para tomada de decisão da ferramenta da Logística 4.0 que otimiza a Gestão do Ciclo de Vidas das Fragatas Classe “Tamandaré”.

Cabe ressaltar que a pesquisa não abordará aspectos orçamentários e financeiros relacionados à implementação de tecnologias logísticas, focando-se exclusivamente na análise das práticas e tecnologias empregadas.

Por fim, deve-se atentar para o tratamento de informações acerca do Meio, visto que se trata de um Programa Estratégico da Marinha do Brasil, com informações de caráter reservado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico, de acordo com Vergara (2016), tem o propósito de expor as pesquisas realizadas anteriormente por outros acadêmicos, explorando tanto o tema de maneira abrangente quanto focando especificamente na problemática em questão. Esta abordagem implica a realização de uma revisão da literatura já existente, englobando não apenas as teorias e suas análises, mas também os estudos considerados fontes de embasamento.

Dessa maneira, serão elucidados os conceitos teóricos fundamentais relacionados à Gestão do Ciclo de Vida, Indústria 4.0, Logística 4.0, Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Manufatura Aditiva, Fragatas Classe “Tamandaré”, Sistema de Abastecimento da Marinha e Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD).

2.1 Gestão do Ciclo de Vida

O Ciclo de Vida tem sua origem na Norma ISO/IEC/IEEE 15288:2023 — Engenharia de sistemas e software — Processos do ciclo de vida do sistema, a qual estabelece um padrão para os procedimentos ao longo do ciclo de vida dos sistemas.

De acordo com as orientações previstas no MD40-M-01 — Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa (BRASIL, 2020b) —, a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas de Defesa (GCVSD) representa uma cultura de governança organizacional. Conforme o manual, esta abordagem deve ser aplicada de forma abrangente em todas as etapas do ciclo de vida, que inclui concepção, desenvolvimento, produção, operação, apoio e desativação. O objetivo primordial é aprimorar as capacidades dos Sistemas de Defesa, levando em consideração os aspectos de desempenho, segurança, qualidade e custos (BRASIL, 2020b).

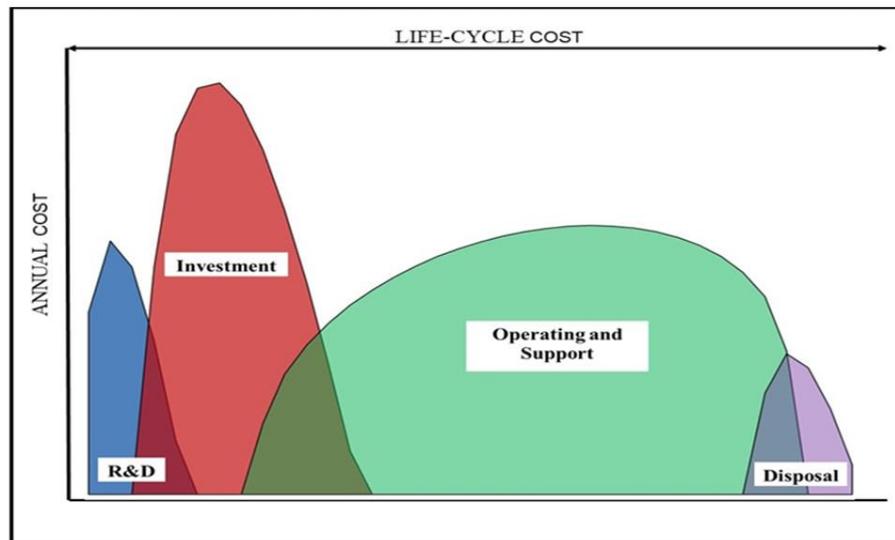
O Produto de Defesa, conforme previsto na Lei nº 12.598, de 21 de março de 2012, compreende qualquer bem, serviço, obra ou informação principalmente empregado nas operações de defesa. Além disso, esse dispositivo legal também apresenta a definição de Sistema de Defesa, que se configura como um conjunto interconectado ou interativo de Produto de Defesa destinado a uma finalidade específica (BRASIL, 2012).

Conforme Gomes (2021), a GCVSD representa um paradigma relativamente contemporâneo na aquisição ou desenvolvimento de produtos complexos, viabilizando uma gestão otimizada ao longo de todo o seu ciclo, desde a concepção até os procedimentos de desativação ao final de sua vida útil. Esta abordagem visa a maximização da operacionalidade do produto, com custos mensuráveis e otimizados (GOMES, 2021).

Segundo Souza (2021), a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa tem como objetivo central a melhoria da operacionalidade e disponibilidade ao longo de todo o seu ciclo. Além disso, desempenha um papel fundamental ao fornecer uma estimativa mais precisa dos custos, fundamentando assim o processo decisório relacionado à aquisição e ao suporte logístico com base em informações técnicas substanciais (SOUZA, 2021).

Ao longo do ciclo de vida, o período de alternância entre a operação e a manutenção, referente às fases de Operação e Apoio, assume um papel central, destacando-se em termos de propósito, duração e investimentos, conforme Figura 1. Para Jones *et. al* (2014) é equivocado supor que o custo da aquisição constitui a maior parte das despesas durante o ciclo de vida. Nesse contexto, já figura um consenso ao afirmar que aproximadamente 70% dos gastos são alocados nas etapas de operação e apoio (JONES *et. al*, 2014).

Figura 1 – Custo do Ciclo de Vida de Sistemas



Fonte: *Operating And Support Cost-Estimating Guide* (2020).

Essa abordagem exige que a Marinha do Brasil disponha de uma base de informações e conhecimentos, tanto de natureza tácita quanto explícita, abrangendo uma ampla gama de atividades e processos, incluindo aqueles inerentes à tecnologia e à logística (MOURA, 2022). As fases de Operação e Apoio são definidas, respectivamente, conforme o Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa (BRASIL, 2020b):

- a) Operação: é o momento em que os sistemas são utilizados em diversos cenários operacionais, garantindo eficiência em termos de custos e resultados operacionais.
- b) Apoio: é o momento em que são exigidos os diversos tipos de apoio logístico para manter a capacidade operacional do Sistema.

Ainda de acordo com o Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa (BRASIL, 2020b), durante as referidas fases devem ser desenvolvidas determinadas atividades para os Sistemas de Defesa:

- a) Iniciar e utilizar o sistema no ambiente operacional planejado;
- b) Conduzir as missões conforme o planejado;
- c) Utilizar, quando necessário, materiais e outros recursos para operar o sistema e manter seus serviços;
- d) Supervisionar a operação para garantir que o sistema esteja sendo utilizado de acordo com os planos operacionais, regulamentos de proteção ambiental e segurança ocupacional, bem como as leis humanitárias internacionais;
- e) Supervisionar o funcionamento do sistema, por meio da coleta de dados, para verificar se as características de desempenho, como disponibilidade, confiabilidade, facilidade de manutenção e segurança, estão dentro dos parâmetros aceitáveis;
- f) Documentar os resultados da operação e quaisquer desvios encontrados, incluindo aqueles relacionados à estratégia operacional, ao uso dos sistemas de suporte, à execução da operação ou à definição específica do sistema;
- g) Registrar incidentes e problemas operacionais e acompanhar o processo de resolução;
- h) Manter o registro dos elementos operacionais;

- i) Registrar incidentes e problemas de manutenção e acompanhar o processo de resolução das soluções;
- j) Analisar os dados e registros de funcionamento do sistema que não tenham impacto no processo de manutenção;
- k) Avaliar os relatórios de problemas e incidentes para identificar necessidades futuras de manutenção preventiva, corretiva ou preditiva;
- l) Executar ações de manutenção preventiva e corretiva e verificar a restauração da capacidade operacional do sistema conforme os procedimentos previstos; e
- m) Realizar atividades logísticas operacionais para garantir que os recursos e materiais corretos estejam disponíveis no local e no momento da proteção, na quantidade e qualidade possíveis.

Segundo Jones *et al.* (2014), nessas fases – Operação e Apoio – a gestão enfrenta um desafio crítico por elas serem marcadas por uma demanda constante por maior disponibilidade de recursos, uma vez que é quando a capacidade militar é colocada em prática. Além disso, as fases de Operação e Apoio são as mais longas do ciclo de vida, consumindo a maioria dos recursos financeiros totais do projeto (DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY, 2010).

2.2 Indústria 4.0

A primeira Revolução Industrial, conforme delineado por Sachon (2017), marcou o advento da mecanização e a substituição do labor manual pela utilização de vapor, catalisando transações comerciais e conferindo especial vantagem à indústria têxtil. A segunda Revolução Industrial, impulsionada por avanços como eletrificação, padronização e a implementação de sistemas de produção em massa, notavelmente exemplificada pela linha de montagem de Henry Ford, viabilizou a manufatura competitiva de produtos de elevada qualidade (MAXIMIANO, 2009). A terceira Revolução, destacada por Santos e Belém (2018), foi distinguida pela integração sinérgica de máquinas e robótica ao processo produtivo, impelindo a transformação da dinâmica laboral e fomentando a busca pelo aprimoramento do saber.

No limiar do século XXI, a assim denominada quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, segundo a perspectiva de Sachon (2017), efetuou uma reconfiguração nos paradigmas globais de produção. De acordo com Gomes (2016), o termo "Indústria 4.0" teve sua origem na Feira de Hanôver, considerada, à época, a mais importante feira industrial da Alemanha, no ano de 2011. Nesse contexto, conforme o autor, foi introduzido um novo paradigma de produção impulsionado pelo notável avanço tecnológico, resultando em linhas de produção mais eficientes e economicamente viáveis. Para Gomes (2016), essa transformação representa um marco significativo na progressão da indústria contemporânea, redefinindo os processos produtivos e a interconexão entre maquinário e sistemas.

Conforme indicado por Fischer (2016), a Indústria 4.0 almeja primariamente aprimorar a capacidade das organizações de se autogerenciarem, antecipando e respondendo a eventos inesperados, como manutenções críticas em equipamentos e possíveis oscilações na demanda. Essa abordagem, para o autor, reflete uma metamorfose substancial na gestão e operacionalização das indústrias.

Em um lapso temporal relativamente curto, surge o que é atualmente de amplo reconhecimento e disseminado como a Quarta Revolução Industrial, notabilizando-se pela fusão de produção em larga escala com personalização da linha de produção, apoiada e facilitada pelas tecnologias disruptivas da robótica, realidade aumentada, internet das coisas, inteligência artificial e *big data* (FAUSTINO, 2016).

Corrêa (2019) enfatiza que, nesse contexto, três elementos se sobressaem de maneira marcante. Em primeiro lugar, emerge um novo patamar de organização e supervisão que abarca toda a cadeia de suprimentos ao longo do ciclo de vida dos produtos. Posteriormente, é notável a disponibilidade instantânea de informações relevantes, fruto da interconexão de todas as instâncias, processos e stakeholders envolvidos na geração de valor. Por fim, observa-se a formação de cadeias de fornecimento dinâmicas, otimizadas e monitoradas em tempo real, estruturadas por meio de uma interligação digital.

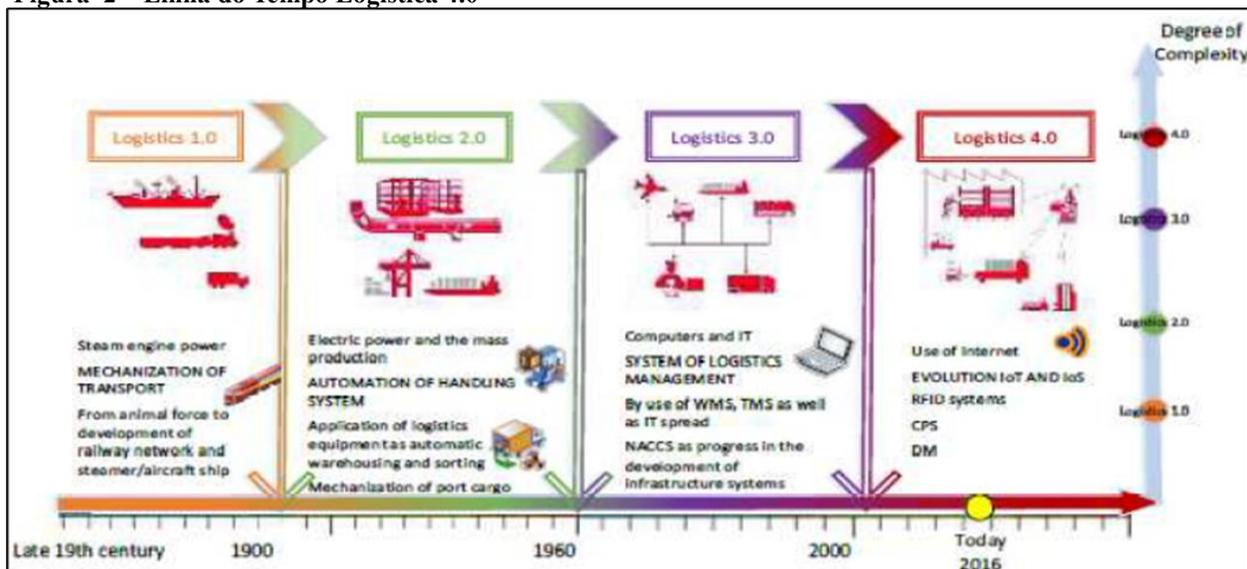
Segundo Wang (2016), as tecnologias proporcionadas pela Indústria 4.0 estão avançando em direção ao suporte logístico, culminando na emergência do conceito conhecido como "Logística 4.0".

2.3 Logística 4.0

De acordo com Ballou (2006), a logística engloba todas as atividades e setores de uma empresa, facilitando o fluxo de produtos desde a aquisição da matéria-prima até a entrega ao consumidor final. Essa sincronização tem como objetivo proporcionar níveis de serviço que excedam as expectativas dos clientes, ao mesmo tempo em que se busca eficiência nos custos. Dessa maneira, a logística assume uma posição crucial como um componente vital para a competitividade e sucesso das organizações (BALLOU, 2006).

De acordo com Wang (2016), o campo da logística passou por três transformações notáveis ao longo de sua evolução, sendo diretamente influenciado pelas Revoluções Industriais. Ainda conforme o autor, a primeira inovação, denominada Logística 1.0, foi impulsionada pela mecanização do transporte no final do século XIX e início do século XX. A segunda inovação, Logística 2.0, surgiu com a automatização do sistema de produção a partir da década de 1960, notavelmente exemplificada pela melhoria da linha de produção em larga escala. Por sua vez, a terceira inovação, Logística 3.0, foi caracterizada pelo desenvolvimento do sistema de gestão logística a partir dos anos 1980. Atualmente, cresce o conceito da quarta inovação logística, reconhecida como Logística 4.0, conforme ilustrado na Figura 2 (WANG, 2016).

Figura 2 – Linha do Tempo Logística 4.0



Fonte: Wang (2016).

Silva e Kawakame (2019) destacam que a proposta da Indústria 4.0 para o modelo de produção requer um setor logístico mais avançado e eficaz, capaz de atender plenamente às exigências desse novo paradigma industrial. Para os autores, a Logística 4.0 representa um ciclo inovador na gestão logística, caracterizado pela completa interconexão entre sistemas e informações, resultando em melhorias significativas em eficiência, velocidade, redução de custos e disponibilidade de informações. Adicionalmente, ainda conforme Silva e Kawakame (2019), essa perspectiva capacita decisões mais embasadas, respaldadas em dados concretos, beneficiando todos os intervenientes, desde os fornecedores até os clientes finais, e conferindo maior competitividade no contexto do mercado global.

Segundo Wang (2016), a Logística 4.0 é essencial em estruturas inteligentes que se encontram interconectadas, visando a integração, autogestão e integridade em apoio à Indústria 4.0. Além disso, ela apresenta características distintivas, como identificação automática, rastreamento em tempo real, detecção inteligente através de sensores, redes de internet sem fio, uma notável capacidade de análise de dados e uma orientação para o comércio baseado em serviços (WANG, 2016).

2.3.1 *Internet das Coisas*

A Internet das Coisas (IoT), também conhecida como *Internet of Things*, apresenta uma perspectiva inovadora para a internet, expandindo sua abrangência para além dos dispositivos tradicionais, integrando-se aos objetos do cotidiano (FACCIONI FILHO, 2015).

Esta tecnologia abre portas para um vasto leque de aplicações, englobando a telemetria, que implica na coleta de dados em diversos ambientes, uma habilidade de interação direta com uma variedade de objetos, a interconexão e comunicação em rede entre esses elementos, bem como a interação entre objetos e pessoas, seja de forma intencional ou de maneira imperceptível (FACCIONI FILHO, 2016).

Conforme Corrêa (2019), a IoT denota uma rede de dispositivos físicos, como máquinas, veículos e componentes, dotados da capacidade de se “conectar” à Internet em sua estrutura. Isso engloba *softwares*, sensores, atuadores e sincronizadores que facultam a conexão, coleta e compartilhamento de dados entre esses dispositivos, tanto entre si quanto com outros agentes na cadeia de suprimentos (CORRÊA, 2019).

Para Nassar e Vieira (2014), a Internet das Coisas, por meio de sua ampla rede de interconexões, tal como a tecnologia de Identificação por Rádio Frequência (RFID), permite rastrear o percurso do item desde sua origem até a entrega final. Esta tecnologia permite não apenas a identificação de eventuais atrasos, mas também oferece outras funcionalidades, fornecendo uma maior transparência no processo para o cliente. Isso, por sua vez, se traduz em um valor percebido pelo cliente, contribuindo diretamente para a gestão de riscos, um aspecto frequentemente em pauta no âmbito do monitoramento logístico (NASSAR; VIEIRA, 2014).

Consoante Faccioni Filho (2016), a Internet das Coisas (IoT) está inextricavelmente vinculada a outro campo conhecido como *big data*, termo que evoca a origem do universo, o *big bang*. Da mesma forma que a expansão inconcebível do cosmos, uma profusão de dados está continuamente sendo gerada e coletada por objetos e sistemas computacionais, estabelecendo uma interação sem precedentes. Para o autor, isto culmina em um volume de informações que exige uma capacidade de armazenamento e processamento substancial, aliada à necessidade de latência mínima e disponibilidade ininterrupta.

2.3.2 *Big Data*

Com base em Russom (2011), a Análise Avançada de *Big Data* (*Big Data Analytics* – BDA) implica no processamento sofisticado de extensos conjuntos de dados. O autor enfatiza que o termo “*big data*” abrange não apenas o volume de dados, mas também três componentes cruciais: volume, velocidade (essencial para tomada de decisões) e variedade (abrangendo diferentes formas de apresentação). Dessa forma, o BDA aprimora a análise de vastos conjuntos de dados por meio de ferramentas de mineração e análise estatística (RUSSOM, 2011).

Para Zhang (2016), a adoção de tecnologias de informação, além do conhecimento de vanguarda por parte de empresas fabricantes e suas respectivas cadeias de suprimentos, culmina na acumulação exponencial de uma extensa quantidade de dados associados à produção. Esse interesse perpassa diversas etapas, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento até a disposição final dos produtos, e envolve a participação de múltiplos agentes (ZHANG, 2016).

Segundo a análise de Rossman *et al.* (2017), a aplicação da Análise de *Big Data* na logística atraiu um interesse em constante ascensão, e os resultados obtidos prometem melhorias no desempenho da gestão da cadeia de suprimentos.

Wang *et al.* (2016) destaca a relevância da Análise de *Big Data* na logística, evidenciando sua influência nas operações da cadeia de abastecimento, englobando aspectos como o planejamento de demanda, aquisição, produção e gestão de estoque. Além disso, os autores afirmam que a pesquisa analisa informações relacionadas à redução de custos, manutenção de equipamentos, tendências de mercado e comportamento dos clientes.

2.3.3 *Manufatura Aditiva*

Conforme Volpato (2021), a manufatura aditiva, comumente conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que constrói um componente tridimensional a partir de um modelo digital. Esta técnica baseia-se na adição gradual de material, camada por camada, controlada por um sistema computacional (VOLPATO, 2021).

De acordo com Santos e Figueiredo Belém (2018), a esse tipo de produção compreende um conjunto de tecnologias empregadas na fabricação de objetos físicos a partir de dados originados em sistemas de projetos computacionais. Para os autores, esses dispositivos não se limitam à mera concepção de modelos, mas também englobam a produção final dos itens.

Segundo Corrêa (2019), a crescente adesão à tecnologia de Impressão 3D desencadeia transformações substanciais nas dinâmicas das cadeias de fornecimento. Para o autor, a produção e design personalizados deslocam o ponto de desacoplamento, marcando a fronteira entre a expansão empurrada e puxada das cadeias, do modelo tradicional de fabricação “para estoque” para um paradigma de produção “sob encomenda”. Essa mudança culmina em uma notável redução no tempo de distribuição da produção (CORRÊA, 2019).

2.4 **Fragatas Classe “Tamandaré”**

A Marinha do Brasil deu início ao Programa Fragatas Classe “Tamandaré” no ano de 2017, com o objetivo de modernizar sua frota por meio da construção de quatro navios de alta tecnologia no país. A previsão é que essas embarcações sejam entregues entre 2025 e 2029 (BRASIL, 2022), conforme a Figura 3:

Figura 3 – Cronograma Programa Fragatas Classe “Tamandaré”



Fonte: Galante (2021).

As Fragatas Classe Tamandaré representam um notável avanço na engenharia naval brasileira, sendo um projeto sofisticado e inovador concebido em território nacional (SANTANA, 2022). Essas embarcações desempenham um papel de extrema importância ao colaborar com a Marinha do Brasil na preservação da soberania territorial e na proteção das riquezas naturais do país, em especial a Amazônia Azul (NEGRETE; ALBUQUERQUE; CARELLI, 2023).

Esses meios serão essenciais para enfrentar diversas ameaças e garantir a proteção do tráfego marítimo em uma vasta área ao redor do Brasil. Além disso, terão um papel crucial em missões de defesa, tanto próximas quanto distantes da costa, com destaque na supervisão e proteção das atividades econômicas, principalmente nas indústrias petrolíferas e pesqueiras. Dessa forma, serão fundamentais em operações de busca e salvamento, permitindo ao Brasil cumprir seus compromissos internacionais (BRASIL, 2022).

Conforme apontado por Santana (2022), o Programa de Fragatas Classe “Tamandaré” (PFCT) destaca-se como um exemplo de incremento operacional da Marinha do Brasil:

O PFCT é um exemplo notório do alto investimento requerido para a conservação da capacidade operativa da MB. A manutenção das Forças Armadas em condições de cumprimento de suas missões constitucionais exige de um elevado grau de investimentos em produtos e sistemas de defesa, que por sua vez obrigam a uma necessária gestão dos custos envolvidos nas diversas etapas do ciclo de vida dos itens adquiridos (SANTANA, 2022, p. 51).

Negrete, De Albuquerque, Carelli (2023) destacam que o Programa de Fragatas Classe “Tamandaré” (PFCT) contribuirá significativamente para uma série de oportunidades na Base Industrial de Defesa do Brasil. Adicionalmente, para os autores, o PFCT fornece condições a esses setores, capacitando a indústria nacional para conquistar autonomia em tecnologias estratégicas para o país (NEGRETE; ALBUQUERQUE; CARELLI, 2023).

2.5 Sistema de Abastecimento da Marinha

Conforme Ballou (2017), a logística é concebida como um processo holístico que engloba o planejamento estratégico, a implementação operacional e o monitoramento contínuo do fluxo de materiais, serviços e informações desde sua origem até o destinatário final. O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), segundo o autor, representa um conceito mais abrangente, integrando a logística com diversas outras áreas, como marketing, produção, pesquisa e desenvolvimento, sistemas de informação, especialização, aquisições, vendas, finanças e atendimento ao cliente.

Na Marinha do Brasil, em conformidade com as Normas para Execução do Abastecimento – rev.7 (SGM-201), o abastecimento compreende um conjunto de atividades com o propósito de prever e disponibilizar o material necessário para manter as forças e as Organizações Militares (OM) da Marinha do Brasil (MB) em condições de plena eficiência. A responsabilidade pela integração dessas atividades é atribuída ao Sistema de Abastecimento da Marinha (SAbM), definida de forma ampla como um conjunto de órgãos interligados, que facilita e supervisiona o fornecimento do material essencial para a manutenção da eficiência plena dos órgãos navais (BRASIL, 2020b).

Para cumprir esse propósito, o SAbM possui uma estrutura composta por órgãos de Execução e de Direção, além de órgãos de Supervisão Técnica, Superintendência e Supervisão Geral. Dentro dessa organização, a Diretoria de Abastecimento da Marinha (DAbM) desempenha o papel do Órgão de Direção Geral (ODG), no contexto das tarefas já mencionadas (BRASIL, 2020b).

Além disso, a Marinha conta com um Sistema de Informações Gerenciais do Abastecimento – SINGRA, fruto da imperiosa demanda do SAbM por uma estrutura de informações e gestão de material voltada a respaldar as etapas fundamentais das operações logísticas associados ao processo de abastecimento. Permitindo, assim, a antecipação e disponibilização os recursos informacionais necessários para a execução das atividades técnicas e gerenciais de abastecimento (BRASIL, 2020b).

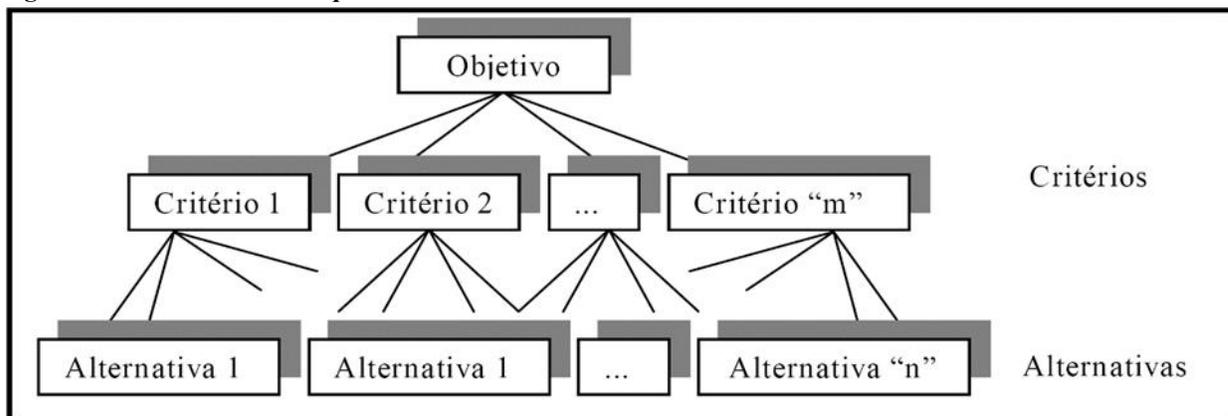
2.6 Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD)

O Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD) conhecido como Método de Análise Hierárquica (AHP) revela uma ferramenta necessária na tomada de decisões complexas, fornecendo uma estrutura robusta para avaliar alternativas múltiplas sob diferentes critérios (Saaty; Vargas, 2012). Esse método alinha-se com a tradição do pensamento cartesiano e newtoniano, ao desdobrar o problema em fatores claros e mensuráveis, permitindo assim uma análise detalhada e a descrição subsequente (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Ao considerar a abordagem de Bandeira, Becker e Rocha (2010), deve-se retomar a atenção de que o Método de Análise Hierárquica (AHP) se baseia na habilidade natural da mente humana para comparar dois objetos. Nesse sentido, a classificação de um conjunto de objetos é determinada por meio de comparações em pares, de forma individual (SAATY, 1980). Contudo, conforme Saaty (1980), a multiplicidade de tais comparações pode resultar em inconsistências, as quais são corrigidas por meio da agregação das observações disponíveis.

A estrutura do AHP se divide com o objetivo da decisão no ápice, seguida pelos critérios que permitem o segundo nível, e finalmente, as alternativas que são avaliadas conforme os critérios estabelecidos na escala hierárquica superior (SAATY; VARGAS, 2012), conforme pode-se observar na Figura 4:

Figura 4 – Estrutura Hierárquica Básica AHP



Fonte: Marins, Souza e Barros (2009).

Em cenários que envolvem múltiplos decisores, as ponderações de critérios e alternativas feitas de maneira independente por cada julgador culminam em matrizes de preferência ou vetores de prioridade (SAATY, 1980). Ao final do procedimento, essas ponderações são consolidadas em uma única matriz, conhecida como matriz de consenso. Esta compila a relevância de cada julgamento, proporcionando um veredito unificado. O escopo final do modelo prioriza as alternativas, facilitando sua ordenação em relação à decisão a ser tomada (MARINS *et al.*, 2009).

A escala fundamental proposta de Saaty e Vargas (2012), representada na tabela 1, desempenha um papel crucial na comparação de alternativas. Esta escala é validada não apenas em termos de aplicabilidade frequente, mas também baseada em justificativas teóricas sobre qual escala empregada na comparação de elementos homogêneos. Nesse sentido, fatores quantitativos e qualitativos convergem em uma única escala, sendo posteriormente analisados de forma matricial.

Tabela 1 – Escala Fundamental de Comparação AHP

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática

9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	Uma designação razoável

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Uma vez finalizadas as comparações pareadas em matrizes, os dados são processados para considerar importância e preferência, estabelecendo um escalonamento relativo entre as alternativas. Essas informações são submetidas ao cálculo do autovetor, que quantifica os pesos para cada classificação em diferentes níveis hierárquicos (VILAS BOAS, 2005). Posteriormente, normaliza-se o vetor, calculando a proporção de cada elemento em relação à soma, gerando um autovetor de prioridades para a ordenação. Cumpre notar que, como alertam Saaty e Vargas (2012), esse autovetor pode gerar alguma inconsistência, sendo prudente avaliar o autovalor da matriz. Os autores propõem, portanto, a adoção do seguinte cálculo para o autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$): $\lambda_{\text{máx}} = T \cdot w$, onde w é a soma das colunas da matriz de comparação.

Saaty (1980) destaca a habilidade intrínseca do ser humano em estabelecer relações coerentes e consistentes entre objetos ou ideias. Dessa forma, o AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, expressa como $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico – tabela 3 – obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não negativos e gerados aleatoriamente. O Índice de Consistência (IC) é definido como $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, em que $\lambda_{\text{máx}}$ corresponde ao maior autovalor da matriz de julgamentos, demonstrado na tabela 2. De acordo com Saaty (1980), a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$.

Tabela 2 – Cálculo do Índice de Consistência

Grandeza	Equação	Descrição
IC	$\frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$	Onde n representa a ordem da matriz

Fonte: Saaty (1980).

Tabela 2 – Índice de Consistência Randômico (IR)

Grandeza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fonte: Saaty (1980).

Posteriormente à realização desses procedimentos na comparação por par de todas as alternativas, proceda-se à valorização global de cada uma delas. Isso é feito por meio de uma soma ponderada da importância relativa ao recrutamento pelo nível de preferência da alternativa,

proporcionando subsídios fundamentais para a tomada de decisão em situações de complexidade exacerbada (VILAS BOAS, 2005).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Conforme Prodanov e Freitas (2013), metodologia refere-se à aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser seguidas na construção do conhecimento, com o intuito de demonstrar sua validade e utilidade nos mais diversos campos de atuação. Com base em Creswell e Creswell (2021), este estudo empregou uma abordagem metodológica quantitativa. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a abordagem quantitativa da pesquisa exige a aplicação de recursos e métodos estatísticos, pois visa expressar em termos numéricos as opiniões e informações adquiridas, estabelecendo, desse modo, um processo de classificação e análise:

Pesquisa quantitativa: considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão etc.). No desenvolvimento da pesquisa de natureza quantitativa, devemos formular hipóteses e classificar a relação entre as variáveis para garantir a precisão dos resultados, evitando contradições no processo de análise e interpretação. (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 70)

Nesse contexto, empregou-se uma metodologia estruturada de apoio à decisão, conhecida como Processo Hierárquico Analítico (AHP), conforme proposta de Saaty (1980), com o objetivo de fornecer uma ferramenta que subsidie o processo decisório. A aplicação de cálculos matemáticos-matriciais serve para definir a seleção das escolhas expressas na dimensão quantitativa do trabalho.

Ainda conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa pode ser classificada pela ótica de sua natureza como aplicada, visto que sua implementação tem por objetivo resolver questões particulares em situações reais específicas. Também pode ser classificada pela ótica de seus objetivos como exploratória, pois seu objetivo é levar maiores conceitos, inovações e informações referentes ao tema.

No que concerne à ótica dos procedimentos — a forma de se obter os dados necessários — conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa se desenvolverá em Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Documental e Pesquisa de Campo.

As Pesquisas Bibliográficas foram realizadas nos temas de Gestão do Ciclo de Vida e Logística 4.0 em literatura especializada, trabalhos e periódicos acadêmicos, bem como materiais de pesquisa e publicações científicas, utilizando o *software Publish and Perish* na base de dados do *Google Acadêmico*, refinando-se a pesquisa em conceitos como *Life Cycle Coast*, Sistemas de Defesa, Logística 4.0, Indústria 4.0 e Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD).

Já as Pesquisas Documentais tiveram foco em Publicações, Normativos do Estado-Maior da Armada, da Diretoria Geral de Material da Marinha, da Diretoria de Abastecimento da Marinha e da Diretoria de Gerência de Projetos da Marinha, no que concerne ao Ciclo de Vida dos Meios Navais, das características das Fragatas Classe Tamandaré e da Logística a ser empregada para apoio do meio. Cabe ressaltar que, segundo Gil (2008), estas fontes se classificam como de primeira mão, visto que ainda não sofreram algum tipo de análise.

A pesquisa de campo, segundo Vergara (2016), refere-se a uma investigação empírica conduzida no local onde as ocorrências ocorrem, e que possui os elementos necessários para sua

explicação. Essa abordagem pode envolver métodos como entrevistas, aplicação de questionários, realização de testes e observação direta. E é nesse sentido que se realizou a coleta de dados do Método AHP, por meio de questionário estruturado, com escala padronizada por Saaty (1980), por meio de questionário eletrônico utilizando o *Google Forms*.

3.1 Coleta de Dados

O uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na seleção de ferramentas de logística 4.0 para a gestão do ciclo de vida das Fragatas Classe Tamandaré se justifica pelo fato de que os métodos multicritérios são essenciais na tomada de decisões, possibilitando abordar problemas complexos que não são tratáveis por métodos intuitivos-empíricos tradicionais. Essas abordagens oferecem clareza e transparência ao processo decisório, características muitas vezes ausentes em métodos monocritérios, conforme destacado por Marins, Souza e Barros (2009).

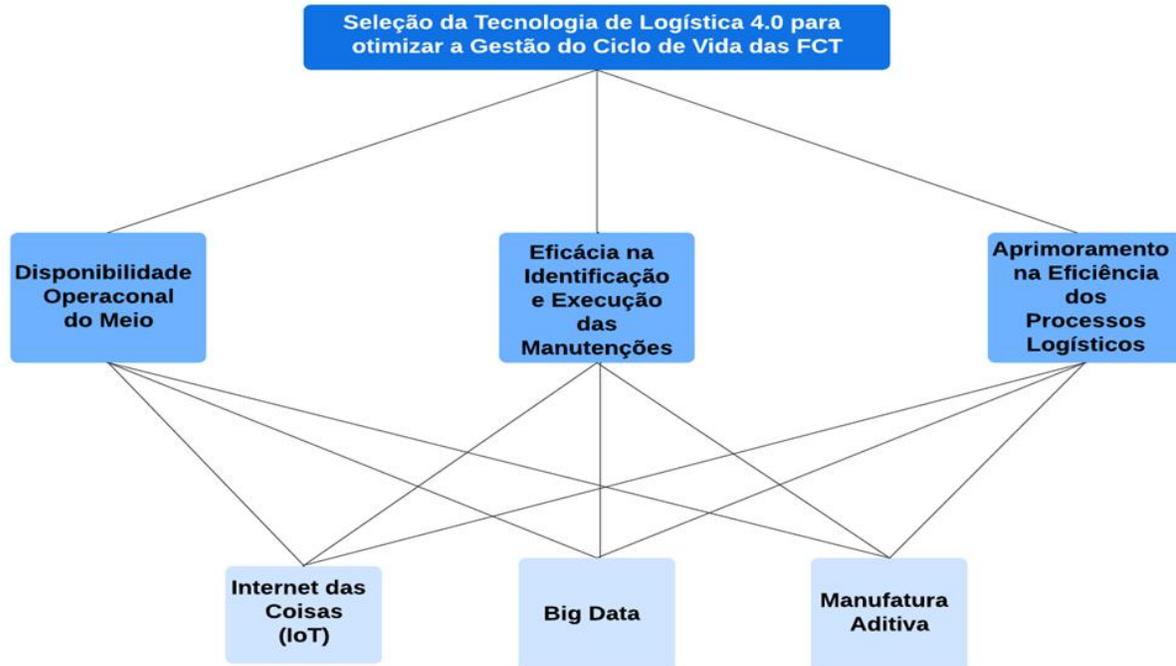
A introdução da abordagem 4.0 na logística naval representa uma inovação significativa para a Marinha, baseada no Objetivo Naval (OBNAV) “Modernizar a Força Naval”, do Planejamento Estratégico da Marinha, necessitando de uma metodologia que possibilite uma avaliação criteriosa das alternativas disponíveis. A aplicação do AHP, ao permitir uma hierarquização e ponderação criteriosa dos elementos em análise, proporciona uma utilização otimizada das ferramentas mais alinhadas ao contexto das Fragatas Classe Tamandaré.

Dessa forma, para que se construa o modelo, foi aplicado o questionário estruturado, com as respostas propostas por Saaty (1980) na comparação par a par das ferramentas e alternativas, a Oficiais que já exerceram funções diretamente ligadas às operações, manutenções, apoio logístico aos meios e gestão de ciclo de vida. Face o exposto, considerou-se a experiência profissional de Oficiais do Corpo da Armada que já exerceram o cargo de Comandante de Navio e Chefe do Departamento de Máquinas, além de Oficiais do Corpo de Intendentes da Marinha que exercem funções correlatas ao gerenciamento de inventário de sobressalentes e apoio logístico integrado e Oficiais do Corpo de Engenheiros da Marinha, com atividades relacionadas ao Gerenciamento do Ciclo de Vida de Meios Navais.

O objetivo primordial deste estudo é a seleção da tecnologia de Logística 4.0 mais adequada para otimizar a Gestão do Ciclo de Vida das Fragatas Classe Tamandaré. Nesse sentido, foram delineados critérios de avaliação que enfatizam elementos de relevância cruciais para as fases de Operação e Apoio.

Assim, conforme Saaty (1980), o modelo desta pesquisa, apresentada na Figura 5, tem no topo como objetivo do modelo a Seleção da Tecnologia de Logística 4.0 para otimizar a Gestão do Ciclo de Vida das FCT, seguindo por seus critérios: Disponibilidade Operacional do Meio; Eficácia na Identificação e Execução das Manutenções; Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos, e, por fim, as alternativas propostas: Internet das Coisas, *Big Data* e Manufatura Aditiva.

Figura 5 – Estrutura Hierárquica de Priorização de Tecnologia da Logística 4.0



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para estimar os critérios de avaliação da Matriz AHP, buscou-se utilizar pontos que afetam diretamente à Operação, Manutenção e Apoio dos Meios. Para isso, verificou-se que o Manual de Boas Práticas de Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas de Defesa (MD40-M-01), apresenta atividades que devem ser conduzidas durante as Fases de Operação e Apoio dos Sistemas de Defesa, que coadunam para os critérios a serem selecionados.

Adicionalmente, segundo Santana (2022), uma Gestão eficiente do Ciclo de Vida deve resultar em elevados índices de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade para os meios, assim como na redução dos tempos de parada, o que impacta diretamente no atingimento do Objetivo Naval (OBNAV) “Obter a Capacidade Operacional Plena” da PEM-2040. Portanto, o aumento da Disponibilidade Operacional do Meio, a Eficácia da Identificação e Execução das Manutenções, o Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos foram selecionando como os critérios de análise das ferramentas.

Em consonância com a necessidade de cumprir as atividades delineadas no Manual de Boas Práticas de Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas de Defesa, foram identificadas quais ferramentas da Logística 4.0 melhores se alinham a essas atividades. Dessa maneira, a utilização da Manufatura Aditiva surge como uma solução viável para garantir a aplicação das manutenções práticas. Conforme Corrêa (2019), a aplicação da Impressão Tridimensional (I3D) na indústria aeroespacial resulta em notáveis reduções de peso em componentes, chegando a 50-80%, eficiência de voo e menor consumo de combustível, além de otimização de operações industriais, especialmente na gestão de peças sobressalentes de alto custo de manutenção.

Ademais, a escolha da Internet das Coisas (IoT) visa atender à rastreabilidade dos itens de componentes sobressalentes dos Sistemas de Defesa, bem como antecipar demandas de manutenção e monitorar o funcionamento do Sistema. Como destaca Corrêa (2019), a Internet das Coisas (IoT) viabiliza a interconexão, coleta e troca de dados entre todos os elementos, tanto entre si quanto com outros participantes na cadeia de suprimentos.

Por fim, o gerenciamento das informações de um complexo e moderno Sistema de Defesa é um processo basilar da Gestão do Ciclo de Vida, conforme apresentado nas atividades do Manual de Boas Práticas. Um volume expressivo de dados vinculado à produção está sendo acumulado em ritmo exponencial por diversos intervenientes ao longo das várias fases do ciclo de vida dos produtos (ZHANG *et al.*, 2016). Diante disso, considerando-se a adoção de *Big Data*, para uma análise pontual desses dados pode conferir vantagens competitivas significativas para as cadeias de dados, permitindo também a previsão das demandas de manutenção dos recursos (CORREA, 2019).

A partir dessas definições, foi estabelecido o questionário de comparação par a par dos critérios e alternativas, com respostas na escala proposta por Saaty (1980) aos Oficiais selecionados, visando atingir o objetivo específico “e”.

3.2 Tratamento dos Dados

Por meio da coleta dos resultados do questionário realizado com os Oficiais selecionados previamente, com a utilização da ferramenta *Excel*, pode-se calcular a priorização individual e conjunta, bem como verificar a Razão de Consistência (RC) de cada avaliação, garantindo a condição de julgamento, com Razão menor ou igual a 0,10, conforme Saaty (1980). Segundo Marins, Souza e Barros (2009), “a inconsistência surge quando algumas opiniões da matriz de comparação se contradizem com outras. Por isso, é importante verificar a consistência das opiniões efetuando uma série de cálculos que indicam consistência ou não da matriz de comparação”.

Dos oito Oficiais entrevistados, apenas 3 obtiveram Razão de Consistência em seus julgamentos, condizente com o proposto por Saaty (1980), e que pudessem ser utilizados na pesquisa. As demais respostas foram descartadas e mantidas em banco de dados, fora da base de cálculos para a Matriz de Decisão do Grupo. Embora seja interessante uma participação mais ampla, é importante ressaltar que o objetivo do estudo não visa generalizar para toda a população. Em vez disso, focamos na aplicação da metodologia, contando com especialistas nas áreas específicas de Operações, Manutenção e Logística. Essa abordagem busca fornecer maior robustez à seleção da ferramenta da Logística 4.0.

As tabelas a seguir mostram as Matrizes de Decisão para cada avaliador, com seus graus de prioridades para cada alternativa, bem com a Matriz com a Decisão conjunta, onde as decisões individuais de cada avaliador têm o mesmo peso na priorização do grupo.

Tabela 3 – Matriz de Decisão para o Decisor 1

Solução da Tecnologia da Logística 4.0 para otimizar a GCV das FCT	Disponibilidade Operacional do Meio	Eficácia na Identificação e Execução nas Manutenções	Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos	Prioridades
Peso dos Critérios	0,655	0,158	0,187	
IoT	0,643	0,643	0,260	0,572
Big Data	0,283	0,283	0,633	0,348
Manufatura Aditiva	0,074	0,074	0,106	0,080

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 4 – Matriz de Decisão para o Decisor 2

Solução da Tecnologia da Logística 4.0 para otimizar a GCV das FCT	Disponibilidade Operacional do Meio	Eficácia na Identificação e Execução nas Manutenções	Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos	Prioridades
Peso dos Critérios	0,655	0,158	0,187	
IoT	0,643	0,490	0,490	0,591
Big Data	0,283	0,451	0,451	0,341
Manufatura Aditiva	0,074	0,059	0,059	0,069

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 5 – Matriz de Decisão para o Decisor 3

Solução da Tecnologia da Logística 4.0 para otimizar a GCV das FCT	Disponibilidade Operacional do Meio	Eficácia na Identificação e Execução nas Manutenções	Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos	Prioridades
Peso dos Critérios	0,614	0,223	0,163	
IoT	0,643	0,554	0,405	0,585
Big Data	0,283	0,370	0,502	0,338
Manufatura Aditiva	0,074	0,076	0,092	0,077

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 6 – Matriz de Decisão Conjunta

Solução da Tecnologia da Logística 4.0 para otimizar a GCV das FCT	Disponibilidade Operacional do Meio	Eficácia na Identificação e Execução nas Manutenções	Aprimoramento na Eficiência dos Processos Logísticos	Prioridades
Peso dos Critérios	0,480	0,405	0,115	
IoT	0,643	0,511	0,480	0,571
Big Data	0,283	0,389	0,405	0,340
Manufatura Aditiva	0,074	0,100	0,115	0,089

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A implementação do Método de Análise Hierárquica (AHP) nas Fragatas Classe “Tamandaré” realça de forma decisiva a Disponibilidade Operacional, atribuindo-lhe uma ponderação dominante de 61,4%. Esta priorização enfática, refletindo o Objetivo Naval do Planejamento Estratégico da Marinha, ressalta a importância da prontidão contínua dessas embarcações. As Fragatas Classe “Tamandaré”, conforme planejado pelo Brasil (2022), são essenciais para a segurança marítima e a proteção das zonas econômicas brasileiras, desempenhando um papel crucial na defesa contra ameaças diversas, na supervisão de atividades econômicas essenciais e no cumprimento de missões de resgate e salvamento. A sua eficácia em tais operações depende intrinsecamente da sua capacidade de estar operacional a qualquer momento, destacando a importância de uma manutenção e apoio logístico eficiente.

No que concerne à "eficácia na execução e identificação das manutenções", com 34% da ponderação, ressalta-se a consciência crescente sobre a importância de manter as Fragatas não apenas operacionais, mas também em condições ótimas. Esta ênfase na manutenção proativa e

eficaz, como parte integrante da estratégia operacional, alinha-se à visão da Indústria 4.0, conforme descrito por Fischer (2016), de promover organizações capazes de se adaptar e reagir prontamente a cenários inesperados. Este foco de manutenção, sustentado pela perspectiva de Jones et al. (2014), também sublinha a necessidade de uma gestão financeira e de recursos cuidadosa durante as fases intensivas de operação e apoio.

Os critérios de "aprimoramento na eficiência dos processos logísticos", apesar de uma ponderação menor de 8,9%, enfatizam a importância de uma logística ágil e integrada nas operações navais. Como Ballou (2006) destaca, a eficiência logística é um componente fundamental para a eficácia operacional, implicando que a otimização desses processos é crucial, mesmo que sua prioridade atual seja relativamente menor.

A escolha preferencial da Internet das Coisas (IoT), com 58,5% de aprovação, indica um reconhecimento significativo do seu potencial transformador na gestão do ciclo de vida das Fragatas. Corrêa (2019) ressalta a importância da IoT na eficiência da gestão de dados e sistemas, enquanto Faccioni Filho (2016) sublinha sua capacidade de coleta e análise de dados em tempo real. Esta preferência pela IoT sugere uma estratégia focada em manutenção preditiva e uma gestão mais informada e eficiente, essencial para manter a operacionalidade e a prontidão das embarcações.

As tecnologias de Big Data e Manufatura Aditiva, com ponderações de 33,8% e 7,7%, respectivamente, também oferecem contribuições benéficas. Russom (2011) discute o impacto do Big Data na tomada de decisões estratégicas, enquanto Corrêa (2019) explora as possibilidades inovadoras da Manufatura Aditiva na produção flexível de componentes. Estas tecnologias, embora com menor destaque no estudo AHP, têm o potencial de revolucionar as operações navais e de manutenção.

Em resumo, os resultados do AHP para as Fragatas Classe "Tamandaré" demonstram uma preferência clara pela IoT como uma ferramenta central da Logística 4.0, alinhada à gestão eficiente do ciclo de vida. Este foco na IoT, juntamente com a valorização da manutenção eficiente e a otimização dos processos logísticos, reflete uma abordagem moderna e estratégica para a prontidão e eficácia naval. A análise ressalta a grande importância da Disponibilidade Operacional e aponta para o potencial das tecnologias emergentes de Big Data e Manufatura Aditiva na otimização das operações e manutenções navais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Logística 4.0, abrangendo um conjunto inovador de ferramentas como a Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e Manufatura Aditiva, surge como um pilar fundamental na modernização e aprimoramento da gestão do ciclo de vida dos Meios Navais. Esta transformação tecnológica não apenas promove eficiência operacional, mas também impulsiona significativamente a disponibilidade e a prontidão das embarcações da Marinha do Brasil. Dentre essas ferramentas, a IoT se destaca de maneira especial, agindo como um elemento chave na garantia de que os Meios Navais estejam sempre prontos para cumprir suas missões com máxima eficácia. A aplicação integrada dessas tecnologias de Logística 4.0, portanto, não só reforça a capacidade operacional das Fragatas Classe Tamandaré, mas também prepara a Marinha para um futuro de desafios cada vez mais complexos e dinâmicos.

A abordagem metodológica deste estudo, fundamentada no rigoroso Método de Análise Hierárquica (AHP), forneceu um caminho sistemático e criterioso na escolha da tecnologia de Logística 4.0 mais apta para as Fragatas Classe Tamandaré. A análise detalhada validou a IoT como

a ferramenta primordial, destacando seu papel crítico na otimização da gestão do ciclo de vida destas embarcações. A escolha da IoT reflete uma compreensão aguda da sua capacidade de integrar e analisar dados em tempo real, crucial para a manutenção preditiva e uma gestão mais informada e proativa.

Este estudo, entretanto, não está isento de limitações. A pesquisa foi conduzida com um grupo específico de Oficiais da Marinha, o que pode restringir a aplicabilidade universal dos resultados. Ademais, dada a evolução acelerada das tecnologias no âmbito da Logística 4.0, há uma necessidade imperativa de atualizações contínuas para assegurar a relevância e a aplicabilidade das descobertas.

Para futuras pesquisas, recomenda-se uma exploração mais aprofundada das tecnologias abordadas, além de uma análise extensiva de inovações tecnológicas emergentes no domínio da Logística 4.0. Uma expansão do estudo para incluir diferentes meios de navegação poderia oferecer uma perspectiva mais holística sobre o potencial da Logística 4.0. Além disso, a ampliação do método de decisão multicritério para incluir mais *stakeholders* em áreas como abastecimento, operações e manutenção poderia enriquecer as análises, adicionando maior profundidade e abrangência.

Em conclusão, este trabalho alcançou com êxito seus objetivos propostos, fornecendo *insights* valiosos para a Marinha do Brasil e impulsionando o progresso na implementação da Logística 4.0 na gestão do ciclo de vida dos Meios Navais. A jornada em busca de excelência operacional e prontidão naval está intrinsecamente ligada à evolução tecnológica, e a Logística 4.0 se estabelece como uma alavanca crítica nessa trajetória rumo ao futuro da Marinha.

NOTAS

1. Questionário disponível em:

https://drive.google.com/drive/folders/1Xx8e7BB5_SBuWYhZVhhhDNCDx9R8BXy4?usp=sharing.

2. Planilhas com os cálculos do método encontram-se disponíveis para consulta em:

https://drive.google.com/drive/folders/1Xx8e7BB5_SBuWYhZVhhhDNCDx9R8BXy4?usp=sharing

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, M. R. *et al.* Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. *In: Simpósio De Engenharia De Produção*, XXVI., 08 a 10 nov. 2017, Bauru, São Paulo, Brasil. **Anais[...]** Bauru, São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321682376_PRINCIPAIS_INOVACOES_TECNOLOGICAS_DA_INDUSTRIA_40_E_SUAS_APLICACOES_E_IMPLICACOES_NA_MANUFATURA. Acesso em: 25 de set. 2023.

ALENCAR, R. Luz *et al.* **Logística 4.0**: abordagem teórica dos pilares e evolução da logística. Palmas, TO: Inovação e Universidades Experiências em Desenvolvimento, 2020. Disponível em:

<http://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/2506/1/Inova%C3%A7%C3%A3o%20e%20universidade%20-%20experi%C3%Aancias%20em%20desenvolvimento.pdf#page=21>. Acesso em: 15 out. 2023.

BALLOU, Ronald. **Gerenciamento Da Cadeia De Suprimento** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

BANDEIRA, D. L.; BECKER, J. L.; ROCHA, A. K. Sistemática multicritério para priorização de embarques marítimos. **RAM Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo - SP, v. 11, ed. 6, p. 107-130, nov/dez 2010. doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-69712010000600007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ram/v11n6/a07v11n6.pdf>. Acesso em: 14 out. 2023.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís Antero Reto; Tradução: Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRASIL. Comando da Marinha. **Programa Fragatas “Classe Tamandaré”**. Brasília-DF: MB, 2022. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/programa-classe-tamandare>. Acesso em 24 de set. 2023.

BRASIL. Marinha do Brasil. Estado-Maior da Armada. **Plano Estratégico da Marinha (PEM-2040) - EMA-300**. Brasília-DF, 2020a.

BRASIL. Marinha do Brasil. Secretaria-Geral da Marinha. **SGM – 201: Normas Para Execução Do Abastecimento**. 7. Rev. Brasília, DF, 2020b.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa**. Brasília, DF: MD, 2019a. Disponível em: https://www.gov.br/caslode/pt-br/arquivos/gestao-do-ciclo-de-vida-de-sistemas-de-defesa/manual_md_40_m_01_13jan2020.pdf. Acesso em: 04 out. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.598, de 22 de março de 2012. Estabelece normas especiais para [...] produtos e de sistemas de defesa; [...] e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112598.htm. Acesso em: 5 out. 2023.

CARMONA, A. L. M. **Análise dos impactos da indústria 4.0 na logística empresarial**. Monografia (Bacharel) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/181717>. Acesso em: 20 set. 2023.

CORRÊA, H. A indústria 4.0 e suas implicações para as cadeias de suprimentos. **Revista Mundo Logística**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329874318_A_Industria_40_e_suas_implicacoes_para_as_cadeias_de_suprimento. Acesso em: 19 set. 2023.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Penso Editora, 2021.

DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY. **DoD Life Cycle Management (LCM) & Product Support Manager (PSM) rapid deployment training**. Fort Bel Voir, VA: DAU, 2010. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a530887.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

FACCIONI FILHO, M. BMS 2.0: nova geração de sistemas de automação e gestão predial. *In: Congresso Netcom*, São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320024315_BMS_20_Nova_geracao_de_sistemas_d_e_automacao_e_gestao_predial. Acesso em: 20 set. 2023.

FACCIONI FILHO, M. **Internet das Coisas (Internet of Things)**. Palhoça-RS: UniSulVirtual, 2016. ISBN: 9788550601113. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319881659_Internet_das_Coisas_Internet_of_Thing. Acesso em: 22 set. 2023.

FEIJÓ, A. M.; VICENTE, E. F. R.; PETRI, S. M. O uso das escalas Likert nas pesquisas de contabilidade. **Revista Gestão Organizacional**, Chapecó, SC, v. 13, n. 1, p. 27-41, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rgo/article/view/5112>. Acesso em: 25 set. 2023.

FISHER, F. Essa tal Logística 4.0. **Tecnológica**, São Paulo, v. 246, n. 1, p.44-52. 2016.

GALANTE, A. **Fragatas 'Classe Tamandaré' está fase em avançada de configuração** . 2021. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2021/06/10/fragatas-classe-tamandare-estao-em-fase-avancada-de-configuracao/>>. Acesso em: 12 out. 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, B. **Indústria 4.0: Internet das Coisas**. Panorama da Inovação. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557E033FAC372E&inline=1>. Acesso em: 20 set. 2023.

GOMES, A. **A importância dos clusters tecnológicos para a indústria de defesa brasileira: análise de relevância para a Marinha do Brasil**. Pedrouços, Portugal: Instituto Universitário Militar Departamento de Estudos Pós-Graduados, 2021.

JONES, G. *et al.* **Investigation into the ratio of operating and support costs to life-cycle costs for DoD weapon systems.** 2014. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a600495.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O.; BARROS, M. da S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **Xli Sbpo**, v. 1, p. 49, 2009.

MAXIMIANO, A. C. A. **Fundamentos da Administração.** 2. ed. São Paulo, 2009.

MOURA, L. V. A. **Processos de Gestão do Ciclo de Vida nas Fases de Operação e Apoio: a Abordagem do Apoio em Serviço para Alcançar a Efetividade Operacional.** Dissertação (Conclusão do Curso) – Estado-Maior para Oficiais Superiores, Rio de Janeiro – RJ, 2022.

NASSAR, V.; VIEIRA, M. L. H. A aplicação de RFID na logística: um estudo de caso do Sistema de Infraestrutura e Monitoramento de Cargas do Estado de Santa Catarina. **Gestão & Produção**, v. 21, p. 520-531, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/kj6hDnMnRVd56nCytKCW8rK/?lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2023.

NEGRETE, A. C. A.; ALBUQUERQUE, Y. A. de; CARELLI, R. de O. A Amazônia Azul Sob Uma Perspectiva Econômica: Contribuições De Programas Estratégicos Brasileiros. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, [S. l.], n. 24, p. 154–183, 2023. doi: 10.12957/cdf.2023.71246. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/cdf/article/view/71246>. Acesso em: 22 set. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROSSMANN, B. *et al.* The future and social impact of Big Data Analytics in Supply Chain Management: results from a delphi study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 130, p. 135-149. 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.005>. Disponível em: <https://scihub.wikicn.top/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.005>. Acesso em 25 de set. 2023.

RUSSOM, P. Big Data Analytics. **TDWI Best Practices Report, fourth quarter**, v. 19, n. 4, p. 1-34, 2011. disponível em: <https://vivomente.com/wp-content/uploads/2016/04/big-data-analytics-whitepaper.pdf>. Acesso em: 22 set. 2023.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.** New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. New York: Springer, 2012.

SACHON, H.; KARRER, C. **Hella: 4.0 Indústria na China**. IESE, P-1163-E, 2017.

SANTANA, E. C. **A gestão de custos na Marinha do Brasil: uma abordagem estratégica da gestão do ciclo de vida nos meios navais**. Monografia (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia) - Departamento de Estudos da Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1580>. Acesso em: 24 de set. 2023.

SANTOS, C. M.; FIGUEIREDO BELÉM, J. Indústria 4.0 e Manufatura Aditiva: um Estudo de Caso com os Consumidores de Calçados Produzidos nas Indústrias de Calçados de Juazeiro do Norte. ID online. **Revista de Psicologia**, v. 12, n. 42, p. 1059-1072, 2018. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/1392/1989>. Acesso em: 25 de set. 2023.

SILVA, E. F. da; KAWAKAME, M. dos S. Lc. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2019, Paraná. **Anais [...]**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/MarceloKawakame/publication/356998067_Logistica_40_Desafios_e_inovacoes_Logistic_40_Challenges_and_innovations/links/61b75f34a6251b553ab65063/Logistica-40-Desafios-e-inovacoes-Logistic-40-Challenges-and-innovations.pdf. Acesso em: 20 set. 2023.

SOUZA, V. C. de *et al.* Utilização das tecnologias da indústria 4.0 na manutenção preditiva através do monitoramento de equipamentos e instalações. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 7063-7083, 2022. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/fjoi6nv72fdjnch7h4dqbczcsaa/access/wayback/https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/43302/pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração** (16a. ed.). Rio de Janeiro: Grupo Gen. - Atlas, 2016.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Editora Blucher, 2021.

WANG, K. Logistics 4.0 Solution New Challenges and Opportunities. **Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**. 2016. DOI:<https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.13>. Disponível em: <https://bit.ly/2E1X2Gl>. Acesso em: 20 set. 2023.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, Y. Análise de temas e previsões para ciência, tecnologia e inovação: Metodologia com estudo de caso com foco em pesquisa de big data. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 105, 2016. Disponível em:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516000160?casa_token=BB1VdoeqI5UAAAAA:XeOKEu4QvZRKyuvOJBGORO9mISgNrNBdIXFfjGdi2m0Bx1b2HQiz36pROeyy0XDZF8A26bEXnPI. Acesso em: 25 de set. 2023.