

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC (IM) GABRIEL DRAIA VIEIRA

**O FUTURO DO APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO:
Explorando as Tecnologias Emergentes e seus Desafios e
Oportunidades para a Marinha do Brasil**

Rio de Janeiro

2024

CC (IM) GABRIEL DRAIA VIEIRA

**O FUTURO DO APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO:
Explorando as Tecnologias Emergentes e seus Desafios e
Oportunidades para a Marinha do Brasil**

Monografia apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior.

Orientadora: CC (RM3-T) Ketia Kellen Araújo da Silva

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto docente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falha ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridade ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

RESUMO

A pesquisa explorou o impacto das tecnologias emergentes no Apoio Logístico Integrado da Marinha do Brasil, destacando as mudanças trazidas pela Quarta Revolução Industrial, especialmente no campo da logística. O objetivo principal do estudo foi avaliar os benefícios e as barreiras à adoção dessas tecnologias no contexto pesquisado, bem como identificar as tendências tecnológicas. A pesquisa utilizou uma abordagem exploratória e descritiva, dividida em três etapas principais: revisão bibliográfica, metassíntese qualitativa e pesquisa de campo. A revisão bibliográfica mapeou o campo da pesquisa de ALI e a metassíntese identificou as tecnologias emergentes e suas características, o que embasou a elaboração dos questionários que foram aplicados aos especialistas da Marinha do Brasil para avaliar a percepção sobre a aplicabilidade das tecnologias emergentes, os benefícios e os desafios para sua implementação. Os resultados da pesquisa indicaram que tecnologias como redes neurais, aprendizado de máquinas e “gêmeos digitais” têm grande potencial para melhorar a eficiência das operações logísticas, proporcionando maior previsibilidade na manutenção, redução de custos e aumento da confiabilidade dos sistemas. Contudo, foram identificados obstáculos significativos à implementação dessas tecnologias, como resistência organizacional, limitações financeiras e a necessidade de capacitação constante dos profissionais. A modernização já foi iniciada pela Marinha em projetos como o dos submarinos da classe Riachuelo e das Fragatas da classe Tamandaré, no entanto, desafios como a integração de sistemas antigos com as novas tecnologias, a adaptação da infraestrutura e as resistências organizacionais continuam sendo questões críticas.

Palavras-chave: Apoio Logístico Integrado. Tecnologias Emergentes. Transformação Digital. Marinha do Brasil. Logística 4.0.

ABSTRACT

THE FUTURE OF INTEGRATED LOGISTICS SUPPORT: Exploring Emerging Technologies and Their Challenges and Opportunities for the Brazilian Navy

The research explored the impact of emerging technologies on the Integrated Logistic Support (ILS) of the Brazilian Navy, highlighting the changes brought about by the Fourth Industrial Revolution, especially in the field of logistics. The main objective of the study was to evaluate the benefits and barriers to the adoption of these technologies in the researched context, as well as to identify technological trends. The research employed an exploratory and descriptive approach, divided into three main stages: literature review, qualitative metasynthesis, and field research. The literature review mapped the field of ILS research, and the metasynthesis identified emerging technologies and their characteristics, which formed the basis for developing questionnaires administered to Brazilian Navy specialists. These questionnaires aimed to assess perceptions of the applicability of emerging technologies, the benefits, and the challenges for their implementation. The research results indicated that technologies such as neural networks, machine learning, and "digital twins" have great potential to improve the efficiency of logistic operations, providing greater predictability in maintenance, cost reduction, and increased system reliability. However, significant obstacles to implementing these technologies were identified, including organizational resistance, financial limitations, and the need for continuous professional training. Modernization has already been initiated by the Navy in projects like the Riachuelo-class submarines and the Tamandaré-class frigates. Nonetheless, challenges such as integrating old systems with new technologies, adapting infrastructure, and organizational resistances remain critical issues.

Keywords: Integrated Logistics Support, Emerging Technologies, Digital Transformation, Brazilian Navy, Logistics 4.0.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO	8
2.1.1 A Evolução do Apoio Logístico Integrado na Marinha do Brasil	10
2.2 TECNOLOGIAS EMERGENTES NA LOGÍSTICA 4.0	11
2.2.1 Tecnologias Emergentes na Logística da Marinha do Brasil	12
3 MÉTODOS	14
3.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	15
3.2 METASSÍNTESE QUALITATIVA	16
3.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS COM ESPECIALISTAS DA MB	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL AVANÇADA	20
4.2 TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	22
4.3 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS AVANÇADOS E AUTOMAÇÃO	22
4.4 SENSORIAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS POR IOT	24
4.5 ANÁLISE DE DADOS E TOMADA DE DECISÕES BASEADA EM DADOS	25
4.6 OPORTUNIDADES E DESAFIOS	26
4.6.1 Gestão de Mudanças e Redução da Resistência Organizacional	26
4.6.2 Investimento em Capacitação e Desenvolvimento de Competências	27
4.6.3 Integração de Sistemas e Modernização da Infraestrutura	27
4.6.4 Segurança de Dados e Proteção Cibernética	28
4.6.5 Alocação de Recursos e Planejamento Orçamentário	28
5 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	33
APENDICE A – BIBLIOMETRIA E METASSÍNTESE QUALITATIVA	41
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO	48

1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial foi marcada pela transformação digital da Indústria, ou seja, a transformação da manufatura baseada em máquinas para a “manufatura digital” (Oztemel; Gursev, 2020). Também chamada de Indústria 4.0, refere-se à integração nas indústrias de tecnologias avançadas como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), o Big Data, a robótica, a impressão 3D, a realidade aumentada e a virtualização (Ivanov et al., 2021). Tais tecnologias que transformaram não apenas a manufatura, mas também redefiniram as práticas em todas as funções logísticas, introduzindo o conceito de Logística 4.0 (Winkelhaus; Grosse, 2020).

A Logística 4.0, como são chamados os sistemas logísticos modernos, transformados com a adoção dessas tecnologias da Indústria 4.0, tem por objetivo aumentar a eficiência, a eficácia e a adaptabilidade das operações logísticas, além de contribuir para a integração de toda a cadeia logística, aprimorar o fluxo de informações entre os agentes envolvidos e melhorar a tomada de decisão em logística (Winkelhaus; Grosse, 2020).

A implantação da Logística 4.0 pode impactar todas as atividades logísticas e, portanto, refletir em uma transformação do Apoio Logístico Integrado (ALI), por meio do avanço tecnológico associado aos processos de suporte logístico, como o diagnóstico de falhas usando “gêmeos digitais”¹, redes neurais e aprendizado de máquinas; tecnologias modernas aplicadas para melhoria da previsibilidade e eficácia da manutenção (Wang et al., 2020).

Como mencionado por Abreu (2015), o ALI notadamente se desenvolveu no setor de Defesa, tendo em vista a complexidade e os custos elevados associados aos sistemas de defesa, o que exige um apoio logístico eficiente durante todo o ciclo de vida dos sistemas, equipamentos e meios militares.

A crescente complexidade das operações logísticas militares e a rápida evolução tecnológica impõem desafios e oportunidades significativas para as forças armadas. O ALI é uma importante ferramenta que contribui para eficiência operacional e a prontidão dos meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais.

1 Este conceito envolve a criação de um modelo virtual dinâmico, que reflete com precisão o objeto físico, e permite monitorar, diagnosticar e prever comportamentos no respectivo gêmeo físico, em várias etapas de seu ciclo de vida (Errandonea; Beltrán; Arrizabalaga, 2020).

Diante disso, a questão de pesquisa imposta foi: quais são os benefícios e as barreiras à implantação na Marinha do Brasil (MB) das tecnologias emergentes adotadas no ALI? Esta pesquisa buscou contribuir para a resposta dessa questão, explorando as implicações da adoção dessas tecnologias no ALI, no contexto específico da MB.

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar os benefícios e as barreiras à implantação na MB das tecnologias emergentes aplicadas ao ALI. Para alcançar esse objetivo, a pesquisa desdobrou-se em objetivos específicos: a) mapear as temáticas emergentes do campo de pesquisa em ALI; b) identificar as tecnologias emergentes adotadas no ALI e os benefícios e dificuldades de implantação; e c) avaliar a percepção de especialistas em ALI da MB sobre os avanços tecnológicos no ALI, os riscos à implantação e os potenciais benefícios para a Força.

O presente trabalho de pesquisa foi organizado em cinco capítulos, sendo esta Introdução o primeiro deles, seguida de um capítulo que apresentou o Referencial Teórico, contendo as abordagens da pesquisa sobre ALI e as tecnologias emergentes na Logística 4.0, no contexto geral e na MB; um terceiro capítulo dedicado aos procedimentos metodológicos utilizados; o quarto capítulo com os resultados e as discussões; e o quinto capítulo, em que a conclusão da pesquisa foi inserida, junto das considerações sobre suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresentam-se os principais conceitos, incluindo uma explicação acerca da abordagem teórica de cada um deles considerada no desenvolvimento dessa pesquisa, de modo a explicitar as “lentes teóricas” do autor, com as quais investigou o problema da pesquisa e construiu as argumentações para a solução.

2.1 APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO

A definição de logística segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (2013) é o processo de planejar, colocar em prática e controlar de modo eficiente e efetivo o fluxo e o armazenamento de produtos, serviços e

informações, desde a origem até o ponto de consumo, em conformidade com os requisitos do cliente.

A logística, tradicionalmente focada no fluxo físico de materiais e produtos, expandiu-se ao longo do tempo para abranger uma abordagem mais integrada, incluindo atividades como tecnologia da informação, marketing, vendas e finanças. De acordo com Blanchard (2014), essa evolução reflete a necessidade de apoiar questões econômicas associadas ao fluxo de bens, em resposta ao aumento da terceirização, globalização e competição internacional. Para o referido autor, esses desenvolvimentos levaram à formação dos conceitos de cadeia de suprimentos (SC) e gestão da cadeia de suprimentos (SCM), que incorporam e integram essas atividades para otimizar o desempenho e a eficiência ao longo da cadeia de valor.

Essa relação entre os conceitos de logística e cadeia de suprimentos é evidenciada por Ballou (2006), que alterna o emprego de ambos os termos com o mesmo significado. Para o referido autor, a logística/cadeia de suprimentos é composta por um conjunto de atividades interligadas que visam a movimentação e o armazenamento eficientes de bens, serviços e informações desde o ponto de origem até o ponto de consumo.

Segundo Ballou (2006), a cadeia de suprimentos pode ser dividida em atividades-chave, essenciais para a criação de valor, e atividades de suporte, que facilitam e aprimoram a execução das atividades-chave. O apoio logístico, ou suporte logístico, refere-se ao conjunto dessas atividades de suporte, incluindo a armazenagem, manuseio de materiais, compras, embalagem e o fluxo interno de materiais e informações.

O Apoio Logístico Integrado, como definido por Abreu (2015), é a integração de todas as atividades logísticas, oferecendo uma visão holística essencial para a compreensão e realização do suporte logístico mais eficiente durante o ciclo de vida. Segundo Blanchard (2014), o conceito de ALI teve sua origem nas necessidades das forças armadas de assegurar que sistemas complexos permanecessem operacionais e eficazes ao longo de seu ciclo de vida. Esta abordagem foi desenvolvida para melhorar a eficiência, a eficácia e a economia das operações de suporte logístico, garantindo que todos os elementos de suporte, incluindo manutenção, fornecimento de peças sobressalentes, treinamento e documentação técnica, fossem integrados e coordenados de forma sistemática.

2.1.1 A Evolução do Apoio Logístico Integrado na Marinha do Brasil

Em Gomes (2016), o ALI é apresentado no contexto organizacional da MB como estando ainda em um estágio de implementação fragmentado e não estava unificado ao conceito de Gestão do Ciclo de Vida (GCV) dos ativos da Força. O foco estava na manutenção corretiva, com uma abordagem reativa para resolver problemas logísticos e de manutenção conforme eles surgissem. A falta de uma integração adequada dos processos logísticos e operacionais dificultava a obtenção da confiabilidade e da disponibilidade, desejadas para os meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais.

Marroni (2018) e Mendes (2019) mostram um progresso na estruturação do ALI, a partir da introdução de equipes dedicadas ao apoio logístico nas diferentes fases do ciclo de vida dos sistemas, integrando a logística desde a fase de concepção até o desfazimento dos meios navais. Esse movimento representou a ampliação do foco inicial do ALI, adotando uma visão holística do processo, que permitiu uma coordenação integrada das funções logísticas com o propósito de aumentar a eficiência do suporte logístico.

Segundo os autores, a ênfase passou para a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que buscava o aumento da disponibilidade operacional dos ativos navais por meio da utilização do tipo adequado de manutenção (corretiva, preventiva ou preditiva) em cada situação, como o foco na prevenção de falhas nos equipamentos e sistemas críticos (Marroni; 2018; Mendes, 2019).

Segundo Mendes (2019) e Neves (2020), o advento do projeto dos novos submarinos da classe "Riachuelo" (S-BR) marcou a fase de transição do ALI para uma prática mais concreta, principalmente porque levou a MB a introduzir o conceito de Banco de Dados Logístico (BDL), inicialmente na concepção do S-BR, aplicável aos novos projetos da MB, como uma importante ferramenta para otimizar a GCV. Nesse sentido, Neves (2020) e Santana (2021) ampliam os conhecimentos acerca dessa fase de consolidação do ALI, mostrando sua aplicação mais abrangente com as ferramentas para Análises de Apoio Logístico (ALL), integradas aos projetos mais modernos, como o Programa das Fragatas Classe Tamandaré (PFCT) e o Navio Polar Almirante Saldanha.

Essa evolução refletiu o amadurecimento do conceito de ALI na MB e, também, da sua prática integrada à GCV, sendo utilizado para equilibrar uma maior

disponibilidade e a confiabilidade dos sistemas com um menor Custo do Ciclo de Vida (CCV) (Neves, 2020). Além disso, as ALL passaram a integrar o planejamento logístico dos novos projetos, passando a incorporar, ainda, o gerenciamento da obsolescência e a gestão de configuração, contribuindo para eficiência operacional e do suporte logístico, durante todo o ciclo de vida (Santana, 2021).

O momento atual do ALI e da GCV na MB foi descrito pelo Contra-Almirante Pereira, em entrevista concedida ao portal Agência Marinha de Notícias, como amplamente implementado, mas com diferentes graus de maturidade, dependendo do estágio do ciclo de vida de cada meio naval. A GCV está sendo levada a sério pela instituição e o ALI é uma parte essencial dos processos de aquisição e construção de novos meios, como no caso do PFCT (Silva, 2024).

A MB está preocupada em estruturar equipes especializadas em ALI, disseminar esse conhecimento e consolidar a visão integrada do suporte logístico desde a fase de concepção dos sistemas. Além disso, a instituição tem dado importância à capacitação de pessoal em áreas como engenharia de sistemas e gestão de aquisições, além de ampliar e modernizar os BDL e as ferramentas de ALL (Silva, 2024).

2.2 TECNOLOGIAS EMERGENTES NA LOGÍSTICA 4.0

O termo “Tecnologias Emergentes” é utilizado neste trabalho no contexto da “Teoria da Difusão de Inovações” de Rogers (Filho; Goulart; Caprino, 2007). Para Rogers (2015), as tecnologias emergentes seriam as inovações tecnológicas que são adotadas e difundidas ao longo do tempo. Para o referido autor, a adoção de tecnologias emergentes é influenciada por características como vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentabilidade e observabilidade; e que o processo de difusão envolve a comunicação dessas inovações por meio de certos canais, ao longo do tempo, entre os membros de um sistema social.

Depreende-se do conceito de Rogers que as tecnologias emergentes dependem do contexto em que são adotadas e de um período de tempo durante o qual são difundidas pelos atores envolvidos. No contexto moderno da Logística, as tecnologias emergentes estão relacionadas ao o conceito de Logística 4.0, que é definida por Winkelhaus e Grosse (2020) como um sistema logístico que visa satisfazer de maneira sustentável as demandas individualizadas dos clientes sem

aumentar os custos, utilizando tecnologias digitais avançadas que são características da quarta revolução industrial.

A Logística 4.0 responde às mudanças no paradigma de produção, que agora inclui a customização em massa e a integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Sistemas Ciberfísicos (CPS), Big Data, computação em nuvem e mídias sociais. Essas tecnologias permitem a visibilidade em tempo real e a automação das operações logísticas, promovendo a eficiência e a tomada de decisões baseadas em dados. Além disso, a Logística 4.0 leva em consideração fatores humanos e ambientais, enfatizando a cooperação entre humanos e máquinas, bem como a sustentabilidade e eficiência energética (Winkelhaus; Grosse, 2020).

2.2.1 Tecnologias Emergentes na Logística da Marinha do Brasil

A MB tem investido em tecnologias que contribuem para o ALI, buscando otimizar a eficiência operacional, o suporte logístico, bem como todas as atividades relacionadas à Gestão do Ciclo de Vida (GCV) dos seus meios. Essas inovações são aplicadas para melhorar a manutenção, o gerenciamento de ativos e a tomada de decisões logísticas. Ainda no escopo desse investimento tecnológico, a Força tem reestruturado seus processos logísticos com a gradual incorporação dos fundamentos do ALI e da GCV, adotado novas ferramentas e incrementado a qualificação do seu pessoal, além de manter uma contínua preocupação com a disseminação do conhecimento adquirido, com a promoção de fóruns específicos, tais como seminários e cursos (Silva, 2024).

Um exemplo de destaque é o Sistema de Gerenciamento da Manutenção Naval (SIGMAN), que utiliza tecnologias avançadas para manutenção preditiva. O SIGMAN é um projeto em desenvolvimento na MB que visa atender às necessidades de gestão de manutenção dentro do ciclo de vida dos meios navais. O sistema está sendo projetado para integrar a função de manutenção com as demais funções logísticas, como suprimento e transporte, já suportado pelo Sistema de Informação Gerencial do Abastecimento (SINGRA). O sistema monitora o desempenho de equipamentos em tempo real, permitindo a antecipação de falhas e reduzindo o tempo de inatividade dos meios, resultando em maior eficiência e economia. Em desenvolvimento pela Diretoria de Gestão de Programas da Marinha

(DGePM), em parceria com o Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), permitirá a gestão integrada de atividades de manutenção com ênfase em rastreabilidade, obsolescência, configuração e manutenção centrada na confiabilidade (MCC) (Mendes, 2019, p. 56; Neves, 2020, p. 31; Silva, 2024).

O SINGRA é outro exemplo de sistema empregado para o gerenciamento de cadeias logísticas e, também, do ALI. O referido sistema se encontra em evolução, por meio da concepção do SINGRA-GCV, que se trata de um ERP em desenvolvimento. O escopo do SINGRA atual será ampliado para ser empregado como um sistema de GCV, com foco em suprimento e transporte, e possui a previsão de integração com o SIGMAN, para tornar possível o gerenciamento de todo o ciclo de vida dos ativos navais, desde sua concepção até o desfazimento (Moura, 2022, p. 50).

Os sistemas abordados são relevantes para a compreensão das tecnologias que estão sendo adotadas nos sistemas de apoio logístico e de apoio à tomada de decisão em desenvolvimento, como a MCC, a automação e integração de sistemas, e o monitoramento das condições em tempo real utilizando sensores, sendo todas tecnologias que empregam algoritmos avançados para análise de dados. Além disso, conforme divulgado no sítio eletrônico do CASNAV, o SIGMAN utiliza ainda tecnologias provenientes da Pesquisa Operacional (PO), outro campo que se mostra emergente na MB.

A PO pode contribuir significativamente para o ALI ao fornecer soluções analíticas para problemas complexos, como a alocação de recursos, planejamento de manutenção e otimização de rotas. Na MB, principalmente no CASNAV, as iniciativas de PO estão centradas na utilização de modelos matemáticos e simulações para apoiar a tomada de decisões logísticas e operacionais. A pesquisa operacional é aplicada para desenvolver modelos que simulam cenários logísticos e avaliam o desempenho de sistemas navais, melhorando a alocação de ativos e o planejamento de operações (Centro de Análises de Sistemas Navais, [s. d.]).

Além desses sistemas em desenvolvimento a MB possui um legado de sistemas criados para contribuir com a gestão e apoio à decisão no contexto das funções logísticas, que foram compilados no Quadro 1, ainda em uso na instituição ou não, com base nas produções acadêmicas dos Oficiais da Marinha Gomes (2016), Mendes (2019), Moura (2022) e Neves (2020).

Quadro 1 – Sistemas Utilizados pela MB

Sigla	Dados/Propósito
Sistema de Apoio à Decisão Logística (SADLog)	Informações logísticas e aprestamento dos meios operativos
Sistema de Manutenção Planejada (SisSMP)	Controle das rotinas de manutenção dos sistemas e equipamentos nos navios
Sistema de Gerenciamento da Manutenção dos Submarinos BR (SISBR)	Dados logísticos e de manutenção dos S-BR
Sistema Integrado de Gestão de Material (SIGeM)	Apoio à tomada de decisão logística do material do Corpo de Fuzileiros Navais
Sistema de Apoio à Logística de Aviação (SisLogWEB)	Gestão das manutenções de aeronaves da MB
Sistema de Apoio Logístico Integrado (SISALI)	Análise de disponibilidade, confiabilidade e CCV dos sistemas
Sistema de Custos da Marinha (SCM)	Dados de custos contabilizados na MB

Fonte: elaborado pelo autor

Nesse contexto, um dos grandes desafios enfrentados pela MB, segundo Gomes (2016, p. 59), é representado por uma forte cultura organizacional aversa à mudanças, que figura ao lado de outros importantes obstáculos, como a dificuldade de disseminar e manter conhecimentos relacionados ao ALI e ao GCV, as barreiras à integração das atividades logísticas realizadas por diferentes Setores da Força e as limitações orçamentárias. Entretanto, as iniciativas constatadas mostram que a MB compreende o valor da implementação dos novos sistemas e das tecnologias emergentes na logística, tais como o aumento da eficiência operacional e a redução de custos, que contribuem para que a MB esteja preparada para enfrentar os desafios logísticos atuais e futuros.

3 MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos utilizados estão descritos a seguir seguindo a ordem em que foram realizados, de modo a refletir a ontologia da pesquisa. Segundo Vergara (1998, p. 45), esta pesquisa classifica-se como exploratória e descritiva, uma vez que o campo da pesquisa em ALI foi explorado sistematicamente, em busca da construção teórica das tecnologias emergentes nesse contexto; o que permitiu a comparação com o conhecimento e percepção dos

especialista da MB sobre as tecnologias adotadas no ALI, levantados por meio de pesquisa descritiva.

Quanto aos meios (Vergara, 1998), a pesquisa se enquadra como bibliográfica e pesquisa de campo.

Bibliográfica ao mapear o campo da pesquisa em ALI por meio de técnicas bibliométricas (Klavans; Boyack, 2017; Zupic; Čater, 2015), além de revisar sistematicamente os achados (Petticrew; Roberts, 2006), em busca de elaborar as construções teóricas das tecnologias emergentes, agregando os conhecimentos produzidos pelos artigos revisados segundo a técnica da metassíntese qualitativa (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016).

Pesquisa de Campo ao aplicar um questionário em especialistas em ALI (Marconi; Lakatos, 2016; Simão et al., 2019), elaborado com base nos construtos teóricos das tecnologias emergentes, identificados na MB por meio da técnica da “amostragem bola de neve” (Leighton et al., 2021). Por fim, as pesquisas bibliográfica e de campo tiveram seus resultados tabulados e comparados (Vergara, 1998, p. 62).

3.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Como o intuito de mapear o campo da pesquisa em ALI, foram buscados os artigos publicados entre 2014 e 2024 nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, as mais indicadas por Moral-Muñoz et al. (2020) para coleta de dados bibliométricos, que continham os termos "*Integrated Logistics Support*" ou "Apoio Logístico Integrado". Os resultados das buscas na duas bases foram juntados em um só banco de dados que, após a “limpeza dos dados”², totalizou um banco de 81 artigos, conforme consta detalhado no Apêndice A. A juntada, limpeza e análises bibliométricas foram realizadas na ferramenta Bibliometrix do software R (Aria; Cuccurullo, 2017).

Para encontrar os artigos mais atuais e relevantes dessa base de dados, correspondente ao “front” da pesquisa, foram empregadas as técnicas de análises bibliométricas de “redes de acoplamento bibliográfico” (Zupic; Čater, 2015) e de “redes de citação direta” (Klavans; Boyack, 2017). Os resultados das análises foram

2 A limpeza dos dados realizada abrangeu a eliminação dos artigos duplicados, oriundos de ambas as bases pesquisadas.

semelhantes e complementares, o que tornou possível a consolidação dos resultados nos 15 *clusters* de artigos apresentados no Apêndice A (Quadro A.2), com as palavras-chave utilizadas pelos autores, que foram revisados para compreensão da temática comum a cada um deles.

O artigos foram então lidos na íntegra, de modo a ampliar o entendimento das abordagens para cada temática relacionada ao seu respectivo *cluster*, o que foi aproveitado para o próximo passo, em que eles foram revisados de modo sistemático. O agrupamento por *clusters* temáticos foi importante para compreensão das semelhanças e diferenças entre eles.

3.2 METASSÍNTESE QUALITATIVA

Partindo do resultado das análises bibliométricas, os 14 *clusters* de artigos foram sistematicamente revisados (Petticrew; Roberts, 2006) com os objetivos de identificar quais as tecnologias foram divulgadas, bem como os benefícios e as dificuldades associadas à implantação.

As informações levantadas por meio da leitura integral dos artigos foram agregadas e reciprocamente traduzidas, seguindo a metodologia da metassíntese qualitativa (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016), que integra e interpreta os achados de múltiplos estudos, proporcionando uma compreensão aprofundada e abrangente de um fenômeno ao identificar padrões, temas e novas perspectivas que não são evidentes em análises individuais.

Conforme encontra-se detalhado no Apêndice A, foi possível agrupar inicialmente os 14 *clusters* em 10 categorias, que representam as principais temáticas em desenvolvimento atualmente no campo da pesquisa de ALI: a) Redes Complexas e Confiabilidade em Sistemas (*clusters* 1 e 12); b) Detecção e Diagnóstico de Falhas em Componentes (*clusters* 2, 3 e 7); c) Gestão do Ciclo de Vida e Análise de Custos do ALI (*cluster* 4); d) Metamateriais Acústicos com Rigidez Quase Zero (*cluster* 5); e) Análise de Sinais para Monitoramento de Condições (*cluster* 6); f) Otimização de Máquinas Elétricas (*clusters* 8 e 10); g) Amortecimento em Ligas Metálicas (*cluster* 9); h) Termografia para Detecção de Defeitos (*cluster* 11); i) Modelagem de Sistemas (*cluster* 13); e j) Eficiência Energética em Instalações Elétricas (*cluster* 15).

Este conjunto de 10 temáticas compõe a estrutura intelectual do *front* da pesquisa (Zupic; Čater, 2015, p. 434 e 439), ou seja, são os temas emergentes do Estado da Arte da pesquisa em ALI.

Na sequência, foram realizadas traduções recíprocas das tecnologias emergentes, encontradas disseminadas pelos artigos que compunham o construto de temáticas, agrupando as temáticas a um nível mais alto de abstração, conforme o Quadro 2, que apresenta os construtos de acordo com a abordagem da representação visual através de “grades de construtos de segunda ordem” (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016, p. 75).

Quadro 2 – Tecnologias Emergentes no ALI

Tecnologias	Temas Emergentes na Pesquisa em ALI
Modelagem e Simulação Computacional Avançada	Redes Complexas e Confiabilidade em Sistemas
	Detecção e Diagnóstico de Falhas em Componentes
	Metamateriais Acústicos com Rigidez Quase Zero
	Otimização de Máquinas Elétricas
	Amortecimento em Ligas Metálicas
Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial	Redes Complexas e Confiabilidade em Sistemas
	Detecção e Diagnóstico de Falhas em Componentes
Integração de Sistemas Avançados e Automação	Otimização de Máquinas Elétricas
	Termografia para Detecção de Defeitos
Sensoriamento e Aquisição de Dados por Internet das Coisas (IoT)	Análise de Sinais para Monitoramento de Condições
	Termografia para Detecção de Defeitos
	Eficiência Energética em Instalações Elétricas
Análise de Dados e Tomada de Decisões Baseada em Dados	Redes Complexas e Confiabilidade em Sistemas
	Modelagem de Sistemas
	Eficiência Energética em Instalações Elétricas

Fonte: elaborado pelo autor

Esse novo agrupamento tornou possível a construção teórica de quais seriam as tecnologias emergentes no contexto pesquisado e, foi utilizado também como fundamentação teórica da construção do instrumento de coleta de dados a ser aplicado no contexto da Marinha do Brasil.

3.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS COM ESPECIALISTAS DA MB

Com o objetivo de compreender as percepções sobre as tecnologias emergentes adotadas no ALI na MB, optou-se por aplicar um questionário de

perguntas abertas, que segundo Marconi e Lakatos (2016) possibilita uma maior profundidade e precisão nas informações levantadas. As questões foram elaboradas com base nos construtos teóricos apresentados no Quadro 2, refinadas após a realização de um pré-teste (Marconi; Lakatos, 2016; Vergara, 1998) com um especialista em ALI da Diretoria de Abastecimento da Marinha (DAbM), e aplicadas em outros especialistas da MB.

O questionário, que é apresentado na íntegra no Apêndice B, é composto por uma introdução, seguida por 6 questões, sendo que as cinco primeiras estão relacionadas à cada uma das tecnologias emergentes, subdivididas em três tópicos: o conhecimento do especialista acerca da tecnologia e as suas percepções quanto aos benefícios potenciais e aos desafios associados à adoção daquela tecnologia no contexto da MB.

Por fim, a última questão é uma solicitação, expressamente voluntária e não obrigatória, para o especialista contribuir com a pesquisa indicando outro especialista do seu conhecimento para responder o questionário, seguindo a técnica da “Amostragem Bola de Neve” (Leighton et al., 2021), na qual, após participar, cada respondente é incentivado a indicar outros especialistas que também possam contribuir significativamente para o estudo.

A aplicação do questionário no primeiro especialista identificado, como pré-teste, resultou nas primeiras indicações de outros especialistas, que, por conseguinte, receberam o questionário por e-mail para preenchimento. O processo repetiu-se sucessivamente até a saturação, ou seja, quando não haviam indicações de especialistas inéditos pelos novos respondentes. No total, foram identificados 45 especialistas, que receberam o questionário por e-mail para resposta, dos quais 15 enviaram suas respostas, que foram compiladas e analisadas, seguindo a metodologia qualitativa indicada por Marconi e Lakatos (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o questionário foi organizado de modo a serem abordados os mesmos três tópicos para cada questão, foi possível que os dados coletados fossem tabulados e analisados de modo horizontal e vertical, o que permitiu a compreensão da percepção sobre as tecnologias emergentes adotada nessa área.

A organização sequencial das respostas dos especialistas permitiu identificar semelhanças que evidenciaram as percepções mais relevantes para a pesquisa. As respostas semelhantes foram interpretadas em conjunto, o que possibilitou a síntese dos principais aspectos observados, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Síntese do Resultado da Aplicação dos Questionários

Tecnologia	Percepção sobre Adoção	Benefícios Potenciais	Desafios Associados
Modelagem e Simulação Computacional Avançada	- Adotado no PFCT e no Nv. Polar (NPo) Alte. Saldanha - Previsão de falhas e melhoria da confiabilidade - MB não possui a tecnologia, depende de empresas contratadas	- Otimização de recursos logísticos - Melhoria na confiabilidade e segurança - Elevação da disponibilidade	- Resistência a novas tecnologias - Limitações orçamentárias - Capacitação e Integração de sistemas
Técnicas de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial	- Desconhecimento da adoção na MB - Referências a usos internacionais em Defesa - Força Aérea Brasileira (FAB) utiliza o Opus Suite	- Manutenção preditiva - Automação dos processos de ALI - Redução do Custo do Ciclo de Vida (CCV)	- Resistência a novas tecnologias - Falta capacitação - Segurança cibernética
Integração de Sistemas Avançados e Automação	- Adotado em meios modernos (ex.: PFCT) e modernizados (ex.: FCN) - Desconhecimento de boa parte dos respondentes	- Otimização de recursos logísticos - Redução de custos operacionais - Aumento da confiabilidade	- Custos elevados - Complexidade na integração de sistemas
Sensoriamento e Aquisição de Dados por IoT	- Adoção no monitoramento em tempo real de motores e outros sistemas críticos e em manutenção preditiva - Desconhecimento de boa parte dos respondentes	- Detecção precoce de falhas - Otimização de recursos - Aumento da confiabilidade - Coleta de dados	- Infraestrutura de rede - Segurança dos dados e cibernética - Desafios na integração de sistemas
Análise de Dados e Tomada de Decisões Baseada em Dados	- Uso crescente na MB, em processos logísticos e decisões estratégicas - Adoção na análise de CCV, na Análise de Decisão Multicritério (ADMC) e no SADLog	- Otimização dos processos de ALI - Melhoria na manutenção preditiva - Aumento da eficiência operacional	- Governança dos dados e infraestrutura - Capacitação e integração de sistemas - Resistência organizacional

Fonte: elaborado pelo autor

As análises horizontais permitiram a compreensão da percepção dos especialistas sobre cada uma das tecnologias incluídas no questionário. Por sua vez, as análises verticais tornaram possível o entendimento mais geral acerca da aplicação dessas novas tecnologias no ALI e na GCV na Marinha do Brasil, bem como as oportunidades e desafios esperados, em decorrência da implementação dessa modernização tecnológica.

Decorridas as análises, conduzidas em diferentes etapas da pesquisa, por ocasião da metassíntese qualitativa da literatura revisada e da síntese dos dados coletados por meio da aplicação dos questionários com especialistas da MB, foram realizadas ainda análises comparativas dos resultados dessas duas abordagens, teórica e empírica.

A seguir foram sintetizados em tópicos, correspondentes às tecnologias emergentes, contendo os resultados encontrados na literatura, na coleta de dados junto aos especialistas e nas análises comparativas; seguidos por um tópico dedicado à consolidação dos resultados das análises verticais, composto pelas oportunidades a serem exploradas pela Força, bem como os desafios esperados com a implantação dessas tecnologias, aos quais precisa se preparar para superar.

4.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL AVANÇADA

A literatura revisada destacou a modelagem e a simulação computacional avançada como ferramentas indispensáveis para o ALI, por permitirem análises mais precisas e previsões acerca do comportamento de sistemas complexos ou, ainda, de seus componentes. Foram ressaltadas as aplicações de modelos numéricos para avaliação do impacto de falhas de componentes, bem como de simulação computacional aplicada na elaboração de projetos mais eficientes, capazes de otimizar um sistema antes de sua concepção.

O mesmo ocorre quando aplicadas essas tecnologias no desenvolvimento de modelos de confiabilidade para sistemas, com potencial para reduzir os custos operacionais e aumentar a disponibilidade. No entanto, a complexidade e o custo computacional são identificados como possíveis barreiras à adoção desse tipo de tecnologia.

A literatura e as percepções dos especialistas da MB convergem em relação ao potencial da modelagem e simulação computacional para otimizar operações e

reduzir custos. No entanto, os especialistas destacaram os desafios práticos de implementação, como a resistência organizacional e as limitações financeiras, que podem ser subestimados na literatura.

Os especialistas da MB também reconheceram a importância dessas tecnologias, mencionando, inclusive, casos em que já foram adotadas na Força, como o PFCT, que possui em seu contrato cláusulas de confiabilidade e de análise de modos de falha (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis* – FMECA), e o projeto para construção do NPo Alte. Saldanha, que teve realizado os cálculos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade (*Reliability, Availability and Maintainability* – RAM) por meio de simulações de Monte Carlos no *software* “Windchill”.

Os respondentes destacaram ainda os benefícios que a MB poderia conquistar na otimização de recursos e no suporte à tomada de decisões estratégicas, alinhando-se aos achados da literatura. Entretanto, eles enfatizaram mais os desafios organizacionais, como a cultura, a resistência a mudanças e as limitações orçamentárias, além da necessidade de capacitação e integração de sistemas.

Apesar de apontarem casos de uso dessas tecnologias na MB, foi evidenciado que a Força depende das empresas contratadas, como no caso do PFCT em que a empresa Thyssenkrup emprega tecnologias de modelagem e de simulação computacional. No âmbito das Forças Armadas brasileiras, tem-se o conhecimento de que a FAB utiliza o *software* “Opus Suite”³, que conta com tecnologias capazes de realizar modelagem e simulação computacional, e ainda tecnologias de aprendizado de máquinas e IA.

Cabe destacar que foram sugeridas pelos respondentes ações passíveis de mitigar essa lacuna tecnológica existente na MB, tais como a inclusão de modelagem computacional no SIGMAN, integrado ao SINGRA-GCV, ou ainda, a aplicação de técnicas de PO para modelagem e simulação de gêmeos digitais, sem a necessidade de aplicação de computação avançada.

3 Opus Suite é um software da empresa sueca Systecon utilizado para otimização logística e gerenciamento do ciclo de vida de sistemas complexos, composto por três módulos principais (OPUS10, SIMLOX e CATLOC), que auxiliam na previsão de desempenho, simulação de operações e controle de custos em setores como defesa e aviação.

4.2 TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

As técnicas de IA e aprendizado de máquina foram descritas na literatura como promissoras no ALI, com potencial para serem aplicadas no diagnóstico de falhas e a análise de sistemas complexos. Os autores destacaram a capacidade dessas tecnologias em prever falhas de forma autônoma, mas também reconheceram os desafios para implantação, tais como a necessidade de grandes volumes de dados e de uma infraestrutura computacional adequada, sem os quais os modelos podem apresentar baixa confiabilidade.

Enquanto a literatura se concentrou nas capacidades técnicas e de processamento de dados, os especialistas da MB trouxeram à tona obstáculos práticos do contexto da defesa nacional, como o desafio de integração de IA com os sistemas antigos em utilização, a necessidade de um elevado investimento inicial para implementação e as resistências culturais à adoção de novas tecnologias e em relação à segurança cibernética.

As respostas dos especialistas convergiram com a literatura ao reconhecerem o potencial da IA e do aprendizado de máquinas para a manutenção preditiva e otimização de recursos logísticos, sendo mencionado o conhecimento de casos de sucesso do emprego dessas tecnologias em empresas internacionais de Defesa, mas expressaram desconhecimento sobre a adoção na MB.

A opinião dos especialistas sugeriu que a implementação do aprendizado de máquinas e da IA poderiam trazer benefícios relevantes para a GCV dos Sistemas de Defesa, incluindo para o ALI, e também como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Ao mesmo tempo em que apontaram suas preocupações práticas em relação à implementação, uma parte dos respondentes sugeriu a necessidade de uma abordagem personalizada para o contexto da MB, incluindo estratégias de mudança de cultura organizacional com vistas a permitir a adoção dessas tecnologias, e a concretização de uma doutrina relacionada ao assunto.

4.3 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS AVANÇADOS E AUTOMAÇÃO

De acordo com a literatura revisada, a integração de sistemas avançados e automação é uma tendência no ALI, que pode aumentar a eficiência, a produtividade

e a segurança de sistemas complexos, por meio da combinação de diferentes tecnologias e sistemas de monitoramento, com o propósito de otimizar o desempenho do ALI.

Foram mencionadas aplicações em detecção de defeitos em máquinas elétricas, na propulsão de aeronaves, em rotores híbridos e em materiais compósitos⁴. Como principal obstáculo, foi apontada a complexidade da integração de diferentes tecnologias.

Tanto a literatura quanto as respostas dos especialistas da MB coincidem na proposição de que a integração de sistemas e a automação têm grande potencial para aumentar a eficiência e reduzir custos. Porém, enquanto a literatura se concentrou na complexidade técnica, os especialistas enfatizaram os desafios organizacionais e financeiros. Isso mostra que é relevante considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também os fatores culturais e o contexto organizacional ao abordar a implementação dessas tecnologias.

Os especialistas da MB identificaram a integração de sistemas e a automação como benéficas para a otimização do desempenho e a redução de custos operacionais, principalmente como resultado do emprego da manutenção preditiva, em decorrência da ampliação do investimento que a MB tem feito no monitoramento automatizado das condições de sistemas embarcados em seus meios.

A aplicação dessas tecnologias na MB pode ser vista nos meios mais modernos da Força, como nos sistemas críticos do PFCT, e também em alguns meios modernizados, como é o caso do monitoramento contínuo das vibrações, temperatura e pressão dos sistemas de propulsão e de energia das FCN.

Contudo, os especialistas destacaram alguns desafios para a ampliação do emprego dessas tecnologias nos meios da MB, tais como a complexidade e o alto custo da integração de sistemas antigos com as novas tecnologias, além de mencionarem a necessidade de capacitar o pessoal para operar e manter sistemas mais modernos, além de uma possível resistência organizacional à mudança e a vulnerabilidade à ataques cibernéticos.

4 Materiais compósitos são formados ao combinar dois ou mais componentes diferentes, como fibras de carbono ou vidro e uma resina, resultando em um material que é mais forte e durável do que cada um dos componentes sozinhos. Esses materiais são muito usados em áreas como a aeronáutica e a indústria naval por serem leves e extremamente resistentes.

4.4 SENSORIAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS POR IOT

O sensoriamento e a aquisição de dados por IoT, incluindo a termografia, foram apontados na literatura revisada como fundamentais no contexto do ALI, sendo aplicadas no monitoramento das condições dos sistemas e na detecção de falhas em tempo real. Os estudos mostraram a utilização de sensores, de telemetria e de termografia no monitoramento das condições de sistemas mecânicos e do consumo de energia.

Foram destacadas as vantagens desse tipo de aquisição de dados para serem aplicados na detecção precoce de falhas e no planejamento das manutenções preditivas. Em termos de eficiência e segurança, os desafios para implantação dessas tecnologias são relacionados à segurança dos dados, infraestrutura de comunicação e análise dos grandes volumes de dados gerados, o que exige uma infraestrutura computacional adequada.

Uma parte significativa dos respondentes do questionário não conhecia o uso desse tipo de tecnologia, mas a maior parte concordou com o que foi encontrado na literatura revisada sobre os benefícios e desafios associados à IoT e à termografia aplicada no ALI.

Os especialistas da MB reconheceram o valor do sensoriamento por IoT para monitoramento em tempo real da condição dos equipamentos e a otimização dos recursos logísticos, mas enfatizaram que a MB já utiliza o sensoriamento termográfico, principalmente em inspeções periódicas, realizadas em instalações e sistemas críticos, para detecção de aquecimento anormal de componentes e previsão de falhas em equipamentos.

Com relação aos desafios esperados com a implementação dessas tecnologias, os especialistas complementaram as abordagens encontradas na literatura, dando ênfase em uma perspectiva adicional representada pela resistência organizacional.

Os respondentes apontaram a existência de uma lacuna entre a realidade observada nos equipamentos e sistemas embarcados nos meios navais da Marinha e os requisitos de sistemas e infraestrutura de dados para integração dessas tecnologias.

4.5 ANÁLISE DE DADOS E TOMADA DE DECISÕES BASEADA EM DADOS

Ao considerar a Análise de Dados e a Tomada de Decisões Baseada em Dados como tecnologias emergentes, são enquadradas nessa categoria as técnicas e ferramentas avançadas para coletar, processar, analisar e interpretar grandes volumes de dados, que foram apontadas pela literatura como tendo o propósito de apoiar o processo decisório no contexto da GCV e otimizar sistemas e processos de ALI.

Os estudos revisados mostraram como a análise de dados pode melhorar a previsão de falhas e reduzir custos logísticos. No entanto, a qualidade dos dados e a escolha de métodos de análise são considerados como desafios para o sucesso, que podem impactar a eficácia dessas tecnologias.

Os especialistas da MB também reconheceram a análise de dados como uma ferramenta que pode trazer benefícios para a eficiência operacional, principalmente quando associada à manutenção preditiva.

Houve, ainda, concordância entre a literatura e as percepções dos especialistas em relação ao papel da análise de dados na melhoria dos processos de tomada de decisões de ALI. Foram identificados casos de uso dessas tecnologias na MB, como o desenvolvimento do SADLog e o emprego de análise de dados para a eficiência da logística de manutenção e para a resiliência das cadeias de suprimento.

Na MB, foram destacados, ainda, o uso de dados para tomada de decisões nas análises de CCV e ADMC, realizadas no contexto dos programas de modernização e manutenção dos sistemas embarcados e, também, nos programas de construção e de aquisição de novos meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais. Alguns especialistas pontuaram a FAB como líder nesse aspecto, no Setor de Defesa brasileiro, mencionando o Sistema de Confiabilidade (SISCONF) como um relevante *benchmarking* de utilização de dados para tomadas de decisão no âmbito da MCC.

No entanto, além dos desafios apontados na literatura, os respondentes destacaram desafios organizacionais e culturais, como a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura de rede e de dados, para manter a governança e integridade dos dados coletados, a ausência de competências necessárias ao pessoal da MB e a resistência organizacional.

4.6 OPORTUNIDADES E DESAFIOS

A análise vertical das percepções dos especialistas da MB sobre as tecnologias emergentes da logística 4.0 adotada no ALI revelou oportunidades a serem exploradas pela instituição com a adoção dessas inovações.

Em termos gerais, as perspectivas apresentadas foram positivas, no sentido de terem reconhecido potenciais ganhos para a Força, principalmente de eficiência, de confiabilidade e de segurança nas operações logísticas desenvolvidas ao longo do ciclo de vida dos meios e, ainda, de melhoria nos processos de tomada de decisões no planejamento das modernizações e aquisições de novos meios.

Essa percepção positiva foi acompanhada pela apresentação de desafios a serem superados pela MB e que podem dificultar a implementação eficaz dessas tecnologias na Força.

4.6.1 Gestão de Mudanças e Redução da Resistência Organizacional

Para facilitar a adoção de novas tecnologias, a MB precisa adotar uma abordagem ativa na gestão de mudanças, ajudando a superar a resistência interna e, ainda, garantir que a estrutura organizacional seja robusta o suficiente para lidar com as mudanças.

Para atingir esse patamar, as sugestões apresentadas pelos especialistas apontam para a necessidade de se adotar uma estratégia própria para o contexto militar naval brasileiro, que abranja todos os elementos organizacionais necessários à consolidação tecnológica. Isso tudo, com a coordenação realizada por uma estrutura de governança adequada, capaz de estabelecer diretrizes e monitorar as ações transversais aos diversos Setores da MB, de modo a tornar os benefícios tecnológicos tangíveis.

Além disso, estratégia de implementação de mudanças tecnológicas precisa ser acompanhada de uma gestão de riscos eficaz, que preveja os recursos institucionais necessários e defina programas contínuos de capacitação, que são fundamentais para a aquisição e manutenção das competências exigidas para sustentar a implementação das inovações tecnológicas.

4.6.2 Investimento em Capacitação e Desenvolvimento de Competências

Um aspecto evidenciado na literatura é que o avanço tecnológico, principalmente em áreas como a modelagem computacional para o planejamento da manutenção preditiva e a análise de grande volume de dados, exige uma força de trabalho altamente qualificada.

Nesse sentido, é fundamental para a Marinha o investimento em treinamento do seu pessoal, para que desenvolvam as competências específicas e necessárias para o emprego dessas novas tecnologias, como o uso de metodologias avançadas de análise e diagnóstico, a integração de novas tecnologias e a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina e IoT.

A relevância do tema foi muito abordada pelos especialistas, o que vai ao encontro da literatura e reforça a relevância do tema. Para elevar o nível de competência técnica para o patamar apontado pelos respondentes faz-se necessário mais do que o investimento em capacitação, mas o planejamento de um programa de desenvolvimento de competências, que garanta uma transição suave para as novas tecnologias, mitigando resistências e fomentando a inovação, de modo a capacitar o pessoal da MB a operar em um ambiente tecnológico em rápida evolução.

4.6.3 Integração de Sistemas e Modernização da Infraestrutura

A MB precisa planejar com cuidado como integrar essas novas tecnologias aos sistemas já existentes. Isso pode envolver a atualização da infraestrutura e a escolha de soluções que funcionem bem em conjunto com o que já está em uso, garantindo que tudo funcione de forma harmoniosa e eficiente.

Os estudos revisados destacaram a complexidade e os desafios técnicos envolvidos na integração de sistemas avançados, como a unificação de dados e a interoperabilidade entre sistemas diferentes. Para os especialistas da MB, essa lacuna tecnológica presente nos sistemas embarcados e no ALI é uma das principais dificuldades para implantação tecnológica.

Nesse contexto fica pujante a necessidade da modernização da infraestrutura de suporte logístico, acompanhada por um planejamento cuidadoso da atualização dos sistemas embarcados nos meios navais, que priorize a interoperabilidade e a

integração dos sistemas legados com novas soluções tecnológicas. Isso inclui a adoção de sistemas ciberfísicos que combinem sensores inteligentes, IoT, infraestrutura de rede e de processamento de dados e plataformas de controle, para otimizar o monitoramento, o ALI e, conseqüentemente, o CCV e a disponibilidade desses meios.

4.6.4 Segurança de Dados e Proteção Cibernética

A vulnerabilidade cibernética é um dos maiores desafios na implementação de novas tecnologias no ALI, tais como a IoT e o aprendizado de máquina. A segurança dos dados foi um tema recorrente nos artigos e também na opinião dos especialistas da MB, que convergiram para o reconhecimento de que a proteção cibernética deve ser uma prioridade.

Para enfrentar esses riscos, a literatura sugeriu a adoção de medidas de segurança cibernética robustas, integradas aos projetos de implementação dessas tecnologias, desde o planejamento, como a encriptação de dados, até o monitoramento constante de ameaças, após a implementação.

Os especialistas da MB enfatizaram que a instituição deve investir seriamente em cibersegurança, o que envolve não apenas a implementação de tecnologias de proteção avançadas, mas também o treinamento contínuo do pessoal em práticas de segurança e a promoção de uma cultura organizacional que valorize a proteção dos dados.

Dessa forma, a MB poderá implementar novas tecnologias de forma segura, sem comprometer a integridade dos seus dados e das suas operações logísticas, ao mesmo tempo em que desenvolve a confiança da instituição e reduz a aversão às inovações tecnológicas.

4.6.5 Alocação de Recursos e Planejamento Orçamentário

A literatura destacou que, para a implementação eficaz de novas tecnologias, é necessário um planejamento financeiro sólido e sustentável, especialmente em organizações complexas como a MB. O planejamento deve ser capaz de definir uma alocação estratégica de recursos, baseada em análises do impacto e do retorno sobre o investimento.

Para que o desenvolvimento tecnológico seja sustentável, é essencial desenvolver parcerias com outros setores da sociedade, como a indústria, instituições de ensino e outras Forças, como é o caso da FAB, apontado pelos especialistas como líder em utilização de tecnologias modernas no ALI e na GCV, como menções relevantes ao Sistema de Confiabilidade (SISCONF), estrutura sistêmica da Força Aérea para o suporte logístico com base na MCC responsável pelo aumento da disponibilidades das aeronaves e redução do CCV; e à utilização do software OPEN SUITE que emprega soluções para o ALI e a GCV, baseada em computação avançada.

A FAB foi apontada, ainda, como uma possível parceira para a formação do nosso pessoal e o desenvolvimento de capacidades especializadas para o desenvolvimento e aplicação de inovações tecnológicas no suporte logístico, contando com cursos de formação e treinamentos realizados em escolas de excelência, como é o caso do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em diferentes níveis de graduação.

Essas parcerias poderiam não só fornecer suporte técnico e financeiro, mas também ajudar a compartilhar os custos e riscos envolvidos na adoção de novas tecnologias no ALI e na GCV dos equipamentos e sistemas de defesa.

Portanto, a MB deve concentrar seus esforços e recursos financeiros em áreas onde as novas tecnologias possam trazer os maiores benefícios, como na manutenção preditiva e na automação logística.

Investir no desenvolvimento de ferramentas analíticas e de simulações, combinando iniciativas baseadas em computação avançadas com o crescimento do potencial existente no campo da PO, para guiar as decisões financeiras, logísticas e operacionais, pode representar um caminho equilibrado a ser seguido em busca dos objetivos de longo prazo da instituição.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa sobre os impactos das tecnologias emergentes da Logística 4.0 no Apoio Logístico Integrado da Marinha do Brasil trouxe uma reflexão acerca das mudanças trazidas pela Quarta Revolução Industrial ao campo da logística.

A revolução tecnológica, marcada por inovações como a IoT, a IA e o *Big Data*, está transformando a prática da logística, não apenas na indústria, mas também no Setor de Defesa. Nesse diapasão, o objetivo geral da pesquisa foi o de avaliar os benefícios e as barreiras à implantação na MB das tecnologias emergentes aplicadas ao ALI.

Para isso, foi necessária a adoção de procedimentos metodológicos para a identificação dessas tecnologias e para a análise da aplicabilidade no contexto militar. A pesquisa foi exploratória e descritiva, ao buscar o mapeamento das tendências atuais no campo do ALI, a interpretação conjunta dos resultados e, também, a descrição de como essas inovações são percebidas e adotadas no contexto da MB.

Os métodos incluíram uma revisão bibliográfica, principalmente em trabalhos que descrevessem a evolução do ALI na MB; análises bibliométricas para o mapeamento do campo da pesquisa; uma metassíntese qualitativa capaz de estruturar os construtos teóricos das tecnologias emergentes; e uma pesquisa de campo, com o propósito de explorar a percepção da Força. Esse conjunto compôs uma abordagem multimodal integrada, que permitiu a construção de uma base teórica sólida e sua análise comparativa com os dados empíricos, coletados com os especialistas em ALI na Marinha.

A revisão bibliográfica foi realizada com os intuitos iniciais de apresentar as abordagens teóricas utilizadas na pesquisa e de contextualizá-las no âmbito da MB. Para mapear o campo da pesquisa em ALI, foram utilizadas técnicas bibliométricas para identificar as conexões entre os artigos mais recentes publicados entre 2014 e 2024, indexados nas bases *Web of Science* e *Scopus*.

Essa análise foi apurada com a aplicação da metassíntese qualitativa, que possibilitou a categorização de temas emergentes na pesquisa sobre ALI, fornecendo os elementos necessários para a construção teórica das tecnologias.

Por meio desse processo foi possível cumprir o primeiro e o segundo objetivos específicos da pesquisa, que eram o mapeamento e a identificação das tecnologias emergentes adotadas no ALI, bem como os benefícios e dificuldades de implantação nas organizações.

Os construtos teóricos referentes às tecnologias emergentes no ALI deram origem ao questionários aplicados aos especialistas da MB, com o propósito de avaliar a percepção deles sobre a adoção dessas tecnologias no contexto da

Força. A técnica de "amostragem bola de neve" foi utilizada para identificação dos especialistas e ampliação da capilaridade.

Após a compilação e análise das respostas, foi possível atingir o terceiro objetivo específico da pesquisa, que envolvia a avaliação da percepção dos especialistas em ALI da MB sobre os avanços tecnológicos, os riscos à implantação e os potenciais benefícios para a Força.

Como resultados, foi possível constatar que a transformação digital nas operações logísticas afeta todos os processos de ALI e evidenciar a importância estratégica das tecnologias emergentes da Logística 4.0 para o seu aprimoramento na MB. Tecnologias como aprendizado de máquinas, redes neurais e gêmeos digitais aumentam a previsibilidade e a eficácia da manutenção, reduzem custos e ampliam a confiabilidade dos sistemas.

Ao avaliar os benefícios e barreiras à implementação, foi possível constatar também as oportunidades consideráveis para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a eficácia operacional. No entanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, como resistência organizacional e limitações orçamentárias. Esses pontos foram destacados tanto nos dados levantados na literatura quanto nas percepções dos especialistas respondentes.

A pesquisa identificou que a MB já iniciou um processo de modernização logística fomentado pelas tecnologias adotadas no ALI e na GCV dos projetos de construção e de aquisição de novos meios, como nos casos dos S-BR, do PFCT e do NPo Almirante Saldanha, que contam com tecnologias avançadas como o sensoriamento em tempo real, a modelagem e a simulação para aumentar a disponibilidade, prever falhas e otimizar a confiabilidade. Entretanto, a Marinha ainda precisa superar obstáculos, como a integração de sistemas antigos com novas tecnologias e a capacitação contínua do pessoal.

A combinação da abordagem sistemática com que a literatura foi revisada e analisada com a abordagem empírica da pesquisa de campo foi fundamental para alcançar uma visão abrangente e equilibrada entre teoria e prática, atingindo o objetivo geral da pesquisa ao destacar como as tecnologias emergentes estão sendo aplicadas no ALI da MB, os principais benefícios e os obstáculos à sua adoção completa.

A pesquisa conclui que, para a MB alcançar os benefícios da implantação dessas novas tecnologias em sua plenitude, será necessário adotar uma abordagem

estratégica. Isso inclui a gestão de mudanças para mitigar a resistência organizacional, a alocação adequada de recursos e o fortalecimento da segurança cibernética. Além disso, será essencial a promoção de uma cultura de inovação e o desenvolvimento contínuo de competências internas para superar resistências e integrar os sistemas legados com as novas tecnologias.

Embora a pesquisa tenha mapeado as principais tendências tecnológicas e oferecido uma visão prática sobre as etapas que a Marinha deve seguir para superar as barreiras e maximizar o potencial dessas inovações, ela também tem suas limitações.

Por estar centrada no contexto específico da MB, as conclusões desta pesquisa podem não ser facilmente aplicáveis a outras organizações, dependendo de fatores culturais, financeiros e estruturais. Além disso, o estudo não abrange os riscos associados aos impactos de longo prazo dessas inovações, que podem ser influenciados por avanços tecnológicos futuros ou mudanças nas políticas governamentais e na estratégia da instituição.

As limitações desta pesquisa apontam para a necessidade de estudos futuros que expandam o escopo para outras organizações e contextos, bem como para avaliações de longo prazo sobre a sustentabilidade econômica da modernização tecnológica do ALI e seus efeitos sobre o CCV e a disponibilidade e confiabilidade operacional dos sistemas complexos.

Também será importante analisar o desenvolvimento das competências internas, examinando como a formação de especialistas pode mitigar os desafios identificados e acelerar o processo de transformação digital.

Por fim, as contribuições desta pesquisa são significativas, mas a rápida evolução das soluções tecnológicas e sua aplicação prática exigem um estudo constante e progressivo. A busca por novas soluções e o monitoramento contínuo das inovações, tanto no ambiente acadêmico quanto nas organizações, são fundamentais para garantir que o ALI continue a atender às crescentes demandas por sistemas logísticos integrados e orientados por dados.

Assim, a presente pesquisa lançou as bases para futuras investigações, que poderão aprofundar a compreensão dos desafios e oportunidades da transformação digital no contexto das logísticas militar e corporativa.

REFERÊNCIAS

ABREU, Heitor Freire de. Apoio Logístico Integrado: Peculiaridades da Indústria de Defesa e Tecnologia. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2015. Disponível em: <https://rbed.abedef.org/rbed/article/view/51459>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. Acesso em: 24 abr. 2024.

BAILOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimento / Logística Empresarial**. tradução: Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BLANCHARD, Benjamin S. **Logistics Engineering and Management**. Sixth edition, Pearson new international editioned. Harlow, Essex: Pearson, 2014.

CENTRO DE ANÁLISES DE SISTEMAS NAVAIS. **Pesquisa Operacional**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/casnav/?q=node/72>. Acesso em: 7 set. 2024.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **Supply Chain Management Terms and Glossary**. Agosto de 2013. Disponível em: https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921. Acesso em: 18 jun. 2024.

CUI, Xuemiao; LU, Jiping; HAN, Yafeng. A Novel Unified Data Modeling Method for Equipment Lifecycle Integrated Logistics Support. **Sensors**, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4265>. Acesso em: 9 mar. 2024.

DENG, Baoyuan et al. Active 3-D Thermography Based on Feature-Free Registration of Thermogram Sequence and 3-D Shape Via a Single Thermal Camera. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9585225>. Acesso em: 9 mar. 2024.

DONGLI, Duan et al. Coexistence Mechanism of Alien Species and Local Ecosystem Based on Network Dimensionality Reduction Method. **Chaos Solitons & Fractals**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.112077>. Acesso em: 9 mar. 2024.

DUAN, Dongli et al. Identification of Unstable Individuals in Dynamic Networks. **Chinese Physics B**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1674-1056/abe92f>. Acesso em: 9 mar. 2024.

DUI, Hongyan et al. Model and Simulation Analysis for the Reliability of the Transportation Network. **Journal of Simulation**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 194–203, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1774930>. Acesso em: 30 abr. 2024.

DUI, Hongyan; ZHANG, Chi. Simulations for Urban Taxi Sharing System on Routes and Passengers with Numerical Experiments. **Journal of Simulation**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17477778.2019.1707130>. Acesso em: 9 mar. 2024.

DUI, Hongyan; ZHANG, Chi; XU, Xin. Failure Analysis of Network Nodes and Edges in Scale-Free Networks. **Communications In Statistics-Theory and Methods**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03610926.2019.1703136>. Acesso em: 30 abr. 2024.

DUI, Hongyan; ZHANG, Chi; ZHENG, Xiaoqian. Component Joint Importance Measures for Maintenances in Submarine Blowout Preventer System. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, [s. l.], v. 63, p. 104003, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.104003>. Acesso em: 30 abr. 2024.

ERRANDONEA, Itxaro; BELTRÁN, Sergio; ARRIZABALAGA, Saioa. Digital Twin for maintenance: A literature review. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 123, p. 103316, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103316>. Acesso em: 24 abr. 2024.

FILHO, Gino Giacomini; GOULART, Elias Estevão; CAPRINO, Mônica Pegurer. Difusão de inovações: apreciação crítica dos estudos de Rogers. **Revista FAMECOS**, [s. l.], v. 14, n. 33, p. 41–45, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1980-3729.2007.33.3432>. Acesso em: 5 jul. 2024.

FRIAS, A. et al. Life Cycle Cost Analysis of Complex Systems: an application to shipbuilding. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.24867/IJIE-2022-4-314>. Acesso em: 9 mar. 2024.

GOMES, Ricardo Alves. **A Política de Manutenção de Meios**: necessidade de se adequar a capacitação dos órgãos técnicos do Sistema de Abastecimento da Marinha para se obter uma maior eficiência do processo de manutenção regulamentado pela Política de Manutenção de Meios. 2016. Tese do CPEM - EGN, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/29948>. Acesso em: 7 set. 2024.

HE, Hongying et al. Detection of Debonding Defects Between Radar Absorbing Material and CFRP Substrate by Microwave Thermography. **IEEE Sensors Journal**, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9686725>. Acesso em: 9 mar. 2024.

HUANG, Fengqin et al. Demagnetization Fault Diagnosis of Permanent Magnet Synchronous Motors Using Magnetic Leakage Signals. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9750877>. Acesso em: 9 mar. 2024.

IVANOV, Dmitry et al. Researchers' perspectives on Industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 59, n. 7, p. 2055–2078, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1798035>. Acesso em: 24 abr. 2024.

KIRTSCHIG, Guilherme; JACOBSEN, Gilson; GRENA-PIRETTI, Eileen. Sustentabilidade Pragmática e tecnologias emergentes: contribuições para a tomada de decisão sustentável. **Revista Justiça do Direito**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 112–134, 2023. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rjd/article/view/14842>. Acesso em: 5 jul. 2024.

KLAVANS, Richard; BOYACK, Kevin W. Which Type of Citation Analysis Generates the Most Accurate Taxonomy of Scientific and Technical Knowledge?. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, [s. l.], v. 68, n. 4, p. 984–998, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/asi.23734>. Acesso em: 12 jul. 2024.

LEIGHTON, Kim et al. Using Social Media and Snowball Sampling as an Alternative Recruitment Strategy for Research. **Clinical Simulation in Nursing**, [s. l.], v. 55, p. 37–42, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2021.03.006>. Acesso em: 12 jul. 2024.

LI, Yunlong et al. Dynamic asymptotic model of rolling bearings with a pitting fault based on fractional damping. **Engineering Computations**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/EC-10-2020-0591>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LI, Yunlong et al. Dynamic asymptotic model of rolling bearings with a single fault in the inner raceway. **Advances in Mechanical Engineering**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/16878140211052288>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LI, Yunlong et al. Joint time-frequency distribution of rolling bearings with multiple faults on outer raceway based on asymptotic model. **Journal of Vibration and Control**, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/10775463221103086>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LI, Yunlong et al. Nonlinear Dynamic Characteristics of Rolling Bearings with Multiple Defects. **Journal of Vibration Engineering & Technologies**, 2023b. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42417-022-00816-1>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LI, Zhinong et al. An Intelligent Diagnosis Method for Machine Fault Based on Federated Learning. **Applied Sciences-Basel**, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/24/12117>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LIBERATI, Alessandro et al. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies that Evaluate Health Care Interventions: explanation and elaboration. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 62, n. 10, p. e1–e34, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>. Acesso em: 13 ago. 2024.

LIN, Qida et al. Numerical and Experimental Investigations on Tunable Low-frequency Locally Resonant Metamaterials. **Acta Mechanica Solida Sinica**, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10338-021-00220-4>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LIU, Yinghui et al. Mesh Stiffness Model for Spur Gear with Opening Crack Considering Deflection. **Engineering Failure Analysis**, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350630722004927>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LONG, Dingbang et al. Evolution and Comparison of Three Typical Permanent Magnet Machines for All-Electric Aircraft Propulsion. **Electrical Engineering**, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00202-023-02023-x>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LONG, Dingbang et al. Evolution and Optimization of a Brushless Doubly-Fed Machine With an Asymmetrical Reluctance and Magductance Rotor. **IET Renewable Power Generation**, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12802>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LONG, Zhuo et al. Motor Fault Diagnosis Using Attention Mechanism and Improved Adaboost Driven by Multi-Sensor Information. **Measurement**, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108718>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LONG, Zhuo et al. Motor Fault Diagnosis Using Image Visual Information and Bag of Words Model. **IEEE Sensors Journal**, 2021b. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9504574>. Acesso em: 9 mar. 2024.

LONG, Zhuo et al. Motor Fault Diagnosis Based on Scale Invariant Image Features. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 1605–1617, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9444210>. Acesso em: 2 mai. 2024.

MA, Xingfu et al. Geometric Parameters Optimization of a Two-Dimensional Phoxonic Crystal with Dual Forbidden Band Characteristics. **Modern Physics Letters B**, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S0217984921505618>. Acesso em: 9 mar. 2024.

MA, Xingfu et al. Optimization of a Ring-Like Phononic Crystal Structure With Bonding Layers for Band Gap. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109059>. Acesso em: 9 mar. 2024.

MARCONI, Maria de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. [S. l.]: Editora Atlas Ltda, 2016. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7237618/mod_resource/content/1/Marina%20Marconi%2C%20Eva%20Lakatos_Fundamentos%20de%20metodologia%20cient%C3%ADfica.pdf. Acesso em: 14 jul. 2024.

MARRONI, Luciana Mascarenhas da Costa. **Sistemática de Aquisição de Produtos de Defesa dos Estados Unidos da América**: quais práticas e ensinamentos o Brasil pode adotar? Monografia do CAEPE - ESG, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/899>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MENDES, Ricardo Luís Veloso. **Detalhamento da Coleta de Dados de Custos de Operação e Apoio dos Navios da Marinha**. Monografia do CAEPE - ESG, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/bitstream/123456789/845/1/RICARDO%20LU%C3%8DS%20VELOSO%20MENDES.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

MOURA, Leonardo Victor Alves. **Processos de Gestão do Ciclo de Vida nas Fases de Operação e Apoio**: a abordagem do Apoio em Serviço para alcançar a efetividade operacional. 2022. 59 f. Dissertação do CEMOS - EGN, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/egn/sites/www.marinha.mil.br.egn/files/CEMOS_058_DIS_CC_IM_VICTOR.pdf. Acesso em: 7 set. 2024.

NEVES, Eduardo Ramos. **Apoio Logístico Integrado**: A importância do Banco de Dados Logístico na Gestão de Ciclo de Vida dos Submarinos classe “Riachuelo”. Dissertação do CEMOS - EGN, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/egn/sites/www.marinha.mil.br.egn/files/CEMOS_013_MONO_CC_IM_NEVES_0.pdf. Acesso em: 7 set. 2024.

NYE, Elizabeth; MELENDEZ-TORRES, G. J.; BONELL, Chris. Origins, Methods and Advances in Qualitative Meta-Synthesis. **Review of Education**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 57–79, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/rev3.3065>. Acesso em: 12 jul. 2024.

OKOH, Peter. Integrated Logistics Support and Asset Management (ILSAM). **Infrastructure Asset Management**, 2019. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jinam.17.00026>. Acesso em: 9 mar. 2024.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 127–182, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>. Acesso em: 14 jul. 2024.

PETTICREW, Mark; ROBERTS, Helen. **Systematic Reviews in the Social Sciences**: a practical guide. Malden, Mass.: Blackwell, 2006.

ROGERS, Everett M. Evolution: **Diffusion of Innovations**. In: International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. [S. l.]: Elsevier, 2015. p. 378–381. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.81064-8>. Acesso em: 5 jul. 2024.

SANTANA, Auro José Alves de. **Gestão do Ciclo de Vida – Aplicação na MB**: a gestão da obsolescência dos Sistemas de Defesa (SD) empregada nas Fragatas Classe “Tamandaré” durante as Fases de Operação e Apoio do Ciclo de Vida. Monografia do CPEM - EGN, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/egn/sites/www.marinha.mil.br.egn/files/012%20CPEM2021_TESEFINAL_AURO.pdf. Acesso em: 7 set. 2024.

SHEN, Zhaoyang et al. Informative Singular Value Decomposition and Its Application

in Fault Detection of Planetary Gearbox. **Measurement Science and Technology**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac69b0>. Acesso em: 9 mar. 2024.

SILVA, Ricardo Pereira da. **Gestão do Ciclo de Vida**: uma abordagem estratégica para a Marinha do Brasil. Agência Marinha de Notícias. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/especial/gestao-do-ciclo-de-vida-uma-abordagem-estrategica-para-marinha-do-brasil>. Acesso em: 7 set. 2024.

SIMÃO, Alessandra dos Santos et al. Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil Brasileira. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. 20130–20145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-210>. Acesso em: 13 jul. 2024.

TANG, Yao et al. Rotating Machine Systems Fault Diagnosis Using Semisupervised Conditional Random Field-Based Graph Attention Network. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9461746>. Acesso em: 9 mar. 2024.

TANG, Yao et al. Graph Cardinality Preserved Attention Network for Fault Diagnosis of Induction Motor Under Varying Speed and Load Condition. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9540360>. Acesso em: 9 mar. 2024.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1998. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/escola-de-administracao-de-empresas-de-sao-paulo/administracao-de-empresas/vergara-sylvia-constant-projetos-e-relat/10200502>. Acesso em: 14 jul. 2024.

WANG, Chengwang; XIA, Yongxiang. Robustness of Complex Networks Considering Attack Cost. **IEEE Access**, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200635>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Chengwang; XIA, Yongxiang; ZHU, Lingzhe. A method for identifying the important node in multi-layer logistic networks. **Frontiers in Physics**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.968645>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Cong; XIA, Yongxiang; SHEN, Hui-Liang. Routing and congestion in multi-modal transportation networks. **International Journal of Modern Physics C**, v. 34, n. 03, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S0129183123500341>. Acesso em: 30 abr. 2024.

WANG, Huan et al. Feature-Level Attention-Guided Multitask CNN for Fault Diagnosis and Working Conditions Identification of Rolling Bearing. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9372133>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Hui et al. A New Intelligent Bearing Fault Diagnosis Method Using SDP Representation and SE-CNN. **IEEE Transactions on Instrumentation and**

Measurement, v. 69, n. 5, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8915801>. Acesso em: 10 mar. 2024.

WANG, Jia; BAI, Guanghan; ZHANG, Luyu. Modeling the interdependency between natural degradation process and random shocks. **Computers & Industrial Engineering**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106551>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Jia et al. Modeling the varying effects of shocks for a multi-stage degradation process. **Reliability Engineering & System Safety**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107925>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Kai et al. A semi-active metamaterial beam with electromagnetic quasi-zero-stiffness resonators for ultralow-frequency band gap tuning. **International Journal of Mechanical Sciences**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105548>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WANG, Zhe et al. Analysis and Optimization of Fault Tolerant Permanent Magnet Vernier Rim Driven Machine Based on the Continuous Variable Magnetic Network Model. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42835-024-01789-9>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WEN, Honghui et al. Performance Analysis of a Brushless Doubly Fed Machine With Asymmetrical Composite Flux Barrier/Magductance Rotor. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10219147>. Acesso em: 9 mar. 2024.

WINKELHAUS, Sven; GROSSE, Eric H. Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>. Acesso em: 5 jul. 2024.

WU, Fei et al. Low frequency and broadband sound attenuation by meta-liner under grazing flow and high sound intensity. **AIP Advances**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/5.0102198>. Acesso em: 9 mar. 2024.

YANG, Lai-Hao et al. Steady-state coupling vibration analysis of shaft-disk-blade system with blade crack. **Nonlinear Dynamics**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11071-021-06645-3>. Acesso em: 9 mar. 2024.

YANG, Lai-Hao Et Al. Dynamic Coupling Vibration Of Rotating Shaft-Disc-Blade System - Modeling, Mechanism Analysis And Numerical Study. **Mechanism and Machine Theory**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104542>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZHANG, Chao; XU, Xin; DUI, Hongyan. Analysis of network cascading failure based on the cluster aggregation in cyber-physical systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 202, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106963>. Acesso em: 30 abr. 2024.

ZHANG, Chao; XU, Xin; DUI, Hongyan. Resilience Measure of Network Systems by Node and Edge Indicators. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 202, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107035>. Acesso em: 30 abr. 2024.

ZHANG, Jianjun et al. Effects of combined use of inoculation and modification heat treatment on microstructure, damping and mechanical properties of Zn-Al eutectoid alloy. **Materials Science and Engineering A**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139740>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZHANG, Jianjun et al. Fabrication and damping property of a novel Zn-Al-Ag-Sc alloy. **Materials Science and Technology**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02670836.2020.1861735>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZHOU, Jiaxi et al. Tunable ultralow frequency wave attenuations in one-dimensional quasi-zero-stiffness metamaterial. **International Journal of Mechanics and Materials in Design**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10999-020-09525-7>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZOU, Zhexiang et al. Investigation into the Modulation Characteristics of Motor Current Signals in a Belt Transmission System for Machining Monitoring. **Applied Sciences-Basel**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app121910088>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZOU, Zhexiang et al. Modulation signal bispectrum analysis of motor current signals for online monitoring of turning conditions. **Measurement & Control**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/00202940231205575>. Acesso em: 9 mar. 2024.

ZUPIC, Ivan; ČATER, Tomaž. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 12 jul. 2024.

APÊNDICE A – BIBLIOMETRIA E METASSÍNTESE QUALITATIVA

1 BIBLIOMETRIA

Para cumprir o propósito de mapear o campo da pesquisa em ALI, foi adotado o roteiro sugerido por Zupic e Čater (2015): (a) design da busca; (b) compilação dos dados bibliométricos; (c) análise dos dados bibliométricos; (d) visualização dos resultados; e (e) interpretação.

a) Design: foi feita uma pesquisa por artigos, nas bases indexadas *Web of Science (WoS)* e *Scopus* (Moral-Muñoz et al., 2020), utilizando a *string* (“*Integrated Logistics Support*” OR “*Apoio Logístico Integrado*”), publicados de 2014 a 2024;

b) Compilação: as buscas resultaram em 71 artigos na base *WoS* e 18 artigos na base *Scopus*. Os dados foram juntados, limpos e analisados bibliograficamente na ferramenta Bibliometrix do software R (Aria; Cuccurullo, 2017). Após a limpeza, formou-se uma base de 81 artigos, que encontra-se listados no Quadro A.1.

Quadro A.1 – Compilação dos Artigos Pesquisados

Nº	Artigo	Nº	Artigo
1	Cui X, 2022, Sensors	42	Wang J, 2021, Reliab Eng Syst Saf
2	Wen Meilin Wm, 2019, J Syst Eng Electron	43	Li Z, 2022, Chin J Mech Eng
3	Okoh P, 2019, Infrastruct Asset Manag	44	Wang K, 2020, Int J Mech Sci
4	Eski S, 2022, J Mehmet Akif Ersoy Univ Econ Adm Sci Fac	45	Song G, 2021, Mater Charact
5	Lambert Kr, 2020, S Afr J Ind Eng	46	Xia C, 2021, Mater Charact
6	Petrochenkov A, 2023, Sustainability	47	Duan D, 2021, Chin Phys B
7	Park J, 2019, Int J Ind Eng-Theory Appl Pract	48	Xie L, 2023, Smart Mater Struct
8	Frias A, 2022, Int J Ind Eng Manag	49	Li Y, 2023, J Vib Control
9	Kim Gy, 2023, J Korean Soc Aeronaut Space Sci	50	Li Y, 2021, Adv Mech Eng
10	Kim Gy, 2022, J Korean Soc Aeronaut Space Sci	51	Wu F, 2022, Aip Adv
11	Wang C, 2023, Int J Mod Phys C	52	Zou Z, 2022, Appl Sci-Basel
12	Wang C, 2020, Ieee Access	53	Yang L, 2022, Mech Mach Theory
13	Wang C, 2022, Front Physics	54	Wang Z, 2024, J Electr Eng Technol
14	Lyakhomskii A, 2022, Energies	55	Li Z, 2021, Appl Sci-Basel
15	Zhang J, 2020, Mater Sci Eng A-Struct Mater Prop Microstruct Process	56	Zhao T, 2023, J Electr Eng Technol
16	Tucker Je, 2023, Milit Med	57	Wang J, 2020, Comput Ind Eng
17	Long D, 2023, Electr Eng	58	Ma X, 2022, Mech Syst Signal Proc
18	Zhang J, 2021, Mater Sci Technol	59	Wen H, 2023, Ieee Trans Ind Electron
19	Dui H, 2021, J Simul	60	Yang Lh, 2021, Nonlinear Dyn
20	Xie J, 2022, Ieee Trans Ind Appl	61	Li Y, 2023, J Vib Eng Technol

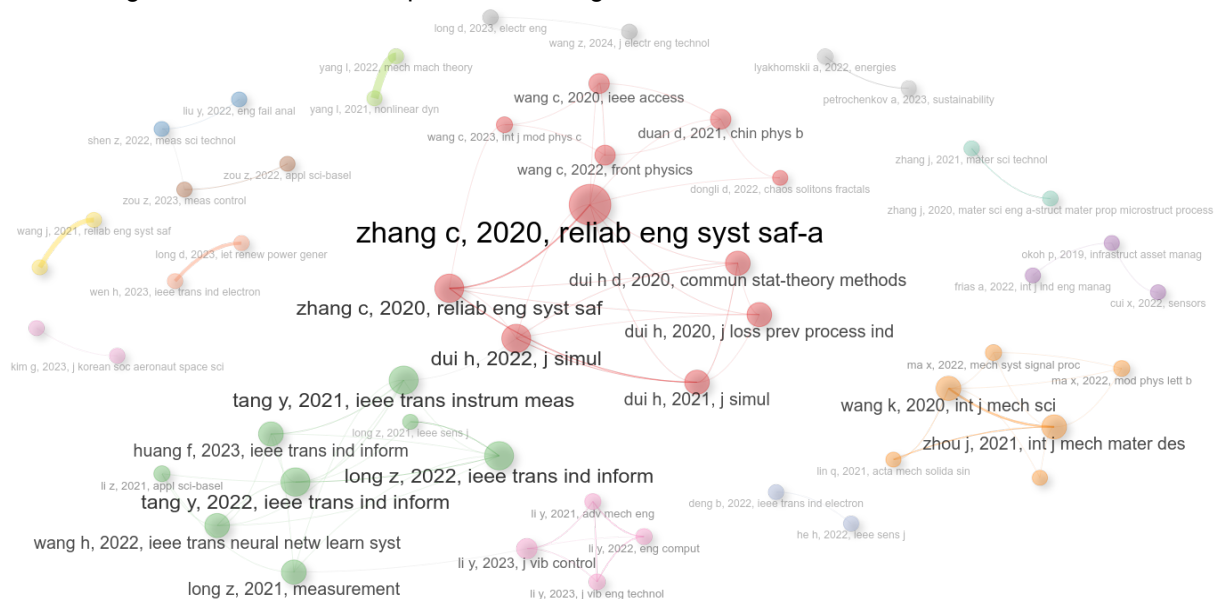
Nº	Artigo	Nº	Artigo
21	Tang Y, 2022, Ieee Trans Ind Inform	62	Ma X, 2022, Mod Phys Lett B
22	Wang H, 2022, Ieee Trans Neural Netw Learn Syst	63	Deng B, 2022, Ieee Trans Ind Electron
23	Li H, 2020, Phys Status Solidi A-Appl Mat	64	He H, 2022, Ieee Sens J
24	Zhou J, 2021, Int J Mech Mater Des	65	Qin Jn, 2021, Mater Res Express
25	Shen Z, 2022, Meas Sci Technol	66	Zhang S, 2023, Machines
26	Lin Q, 2021, Acta Mech Solida Sin	67	Xie L, 2023, Sci Rep
27	Long Z, 2021, Ieee Sens J	68	Dui Hongyan Dh, 2020, Commun Stat-Theory Methods
28	Dongli D, 2022, Chaos Solitons Fractals	69	Huang W, 2021, J Sound Vibr
29	Sun X, 2022, Fuel	70	Zhang C, 2020, Reliab Eng Syst Saf-A
30	Dui H, 2020, J Loss Prev Process Ind	71	Dui H, 2022, J Simul
31	Huang F, 2023, Ieee Trans Ind Inform	72	Luo H, 2021, Chinese J Ship Res
32	Zhang C, 2020, Reliab Eng Syst Saf	73	Zhao R, 2020, Nanjing Li Gong Daxue Xuebao
33	Liu Y, 2022, Eng Fail Anal	74	Eltyshev Dk, 2020, Russ Electr Eng
34	Long D, 2023, Iet Renew Power Gener	75	Veretekhina Svetlana V, 2022, Wseas Transact Power Syst
35	Zhang X, 2023, Ieee Trans Ind Inform	76	Mei Z, 2021, Chinese J Ship Res
36	Li Y, 2022, Eng Comput	77	Veretekhina Sv, 2019, J Environ Treat Tech
37	Long Z, 2022, Ieee Trans Ind Inform	78	Sun G, 2020, Chinese J Ship Res
38	Tang Y, 2021, Ieee Trans Instrum Meas	79	Feng Y, 2021, Xibei Gongye Daxue Xuebao
39	Zou Z, 2023, Meas Control	80	Ullo Sl, 2019, Meas J Int Meas Confed
40	Li Z, 2021, Chin J Mech Eng	81	Kim Gy, 2022, J Korean Soc Aeronaut Space Sci1
41	Long Z, 2021, Measurement		

Fonte: elaborado pelo autor

c) Análise dos Dados: foram realizadas as análises bibliométricas de “redes de acoplamento bibliográfico” (Zupic; Čater, 2015) e de “redes de citação direta” (Klavans; Boyack, 2017), ambas indicadas para a identificação dos agrupamentos de artigos mais relevantes, publicados recentemente, cujo número de citações não é uma métrica representativa da relevância desses trabalhos.

d) Visualização: a análise das redes de acoplamento bibliográfico encontrou 15 agrupamentos de artigos, utilizando o algoritmo de clusterização *walktrap*. Os resultados podem ser observados na Figura A.1, que apresenta os *clusters* em cores diferentes e tamanhos proporcionais à relevância. As linhas indicam a existência de referências comuns entre os artigos, e a largura é proporcional à semelhança entre suas referências bibliográfica. A disposição dos *clusters* e do artigos dentro de um mesmo *cluster* seguiu o grau de centralidade na respectiva rede.

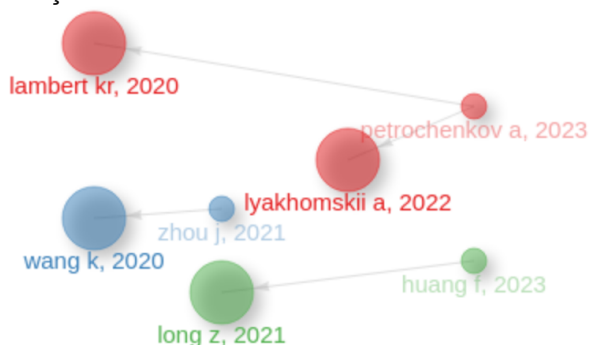
Figura A.1 – Rede de Acoplamento Bibliográfico



Fonte: elaborado pelo autor no aplicativo Biblioshiny do pacote Bibliometrix do software R.

A análise das redes de citação direta encontrou 3 *clusters*, apresentados na Figura A.2. Os nós estão posicionados de acordo com a cronologia da publicação e seu tamanho é proporcional ao número de citações que o artigo recebeu. As linhas indicam que os artigos mais recentes citaram o artigo mais antigo conectado.

Figura A.2 – Rede de Citação Direta



Fonte: elaborado pelo autor no aplicativo Biblioshiny do pacote Bibliometrix do software R.

Os *clusters* encontrados por meio da análise de citação direta também foram identificados por meio da análise de redes de acoplamento bibliográfico, com exceção do artigo de Lambert (2020), que foi incluído no *cluster* 15, de maneira que os resultados das duas análises pudessem ser aglutinados no Quadro A.2.

Quadro A.2 – Redes de Acoplamento Bibliográfico e de Citação Direta

Artigos	Palavras-chave	Nº
Zhang C, 2020, Reliab Eng Syst Saf	Redes complexas Robustez Confiabilidade	1
Dui H, 2020, J Loss Prev Process Ind		
Zhang C, 2020, Reliab Eng Syst Saf-A		
Wang C, 2023, Int J Mod Phys C		

Artigos	Palavras-chave	Nº
Wang C, 2020, Ieee Access		
Wang C, 2022, Front Physics		
Dui H, 2022, J Simul		
Duan D, 2021, Chin Phys B		
Dongli D, 2022, Chaos Solitons Fractals		
Dui H, 2021, J Simul		
Dui Hongyan Dh, 2020, Commun Stat-Theory Methods		
Liu Y, 2022, Eng Fail Anal	Detecção de falha Decomposição singular	2
Shen Z, 2022, Meas Sci Technol		
Huang F, 2023, Ieee Trans Ind Inform	Diagnóstico de falha Extração de recursos Padrão de pontos simetrizados	3
Wang H, 2022, Ieee Trans Neural Netw Learn Syst		
Long Z, 2021, Measurement		
Long Z, 2022, Ieee Trans Ind Inform		
Tang Y, 2022, Ieee Trans Ind Inform		
Tang Y, 2021, Ieee Trans Instrum Meas		
Long Z, 2021, Ieee Sens J		
Li Z, 2021, Appl Sci-Basel	ALI Integrado Modelagem unificada de dados	4
Okoh P, 2019, Infrastruct Asset Manag		
Frias A, 2022, Int J Ind Eng Manag		
Cui X, 2022, Sensors	Rigidez quase zero Frequência ultrabaixa Metamaterial acústico	5
Wang K, 2020, Int J Mech Sci		
Zhou J, 2021, Int J Mech Mater Des		
Lin Q, 2021, Acta Mech Solida Sin		
Wu F, 2022, Aip Adv		
Ma X, 2022, Mech Syst Signal Proc		
Ma X, 2022, Mod Phys Lett B		
Zou Z, 2022, Appl Sci-Basel	Modulação atual Transmissão por correia	6
Zou Z, 2023, Meas Control		
Li Y, 2023, J Vib Control	Rolamentos Modelo dinâmico Dinâmica não linear	7
Li Y, 2021, Adv Mech Eng		
Li Y, 2022, Eng Comput		
Li Y, 2023, J Vib Eng Technol		
Long D, 2023, Electr Eng	Otimização multiobjetivo Modelo de rede variável	8
Wang Z, 2024, J Electr Eng Technol		
Zhang J, 2020, Mater Sci Eng A-Struct Mater Prop	Amortecimento Microestrutura Limites de grãos	9
Microstruct Process		
Zhang J, 2021, Mater Sci Technol	Configuração assimétrica Máquinas sem escova	10
Long D, 2023, Iet Renew Power Gener		
Wen H, 2023, Ieee Trans Ind Electron	Termografia ativa Fibra de carbono	11
He H, 2022, Ieee Sens J		
Deng B, 2022, Ieee Trans Ind Electron	ALI Produto integrado	12
Kim Gy, 2022, J Korean Soc Aeronaut Space		
Kim Gy, 2023, J Korean Soc Aeronaut Space	Vibração de	13
Yang L, 2022, Mech Mach Theory		

Artigos	Palavras-chave	Nº
Yang Lh, 2021, Nonlinear Dyn		
Wang J, 2021, Reliab Eng Syst Saf	Choques aleatórios Falhas concorrentes Modelo híbrido	14
Wang J, 2020, Comput Ind Eng		
Lyakhomskii A, 2022, Energies	Submersível elétrico Consumo de energia Bombear	15
Petrochenkov A, 2023, Sustainability		
Lambert KR, 2020, S Afr J Ind Eng		

Fonte: elaborado pelo autor.

e) Interpretação: foram identificados 15 agrupamentos de artigos que compõe a vanguarda do campo da pesquisa de ALI, composta pelos artigos recentes mais relevantes. Para interpretar cada *clusters* e identificar os pontos em que se diferenciam, bem como os pontos em que convergem, optou-se por revisar sistematicamente esse extrato da literatura, com objetivo de compreender as inovações tecnológicas que estão sendo adotadas e divulgadas no contexto da pesquisa em ALI. A revisão e a síntese dos resultados foram apresentadas a seguir.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA E METASSÍNTESE QUALITATIVA

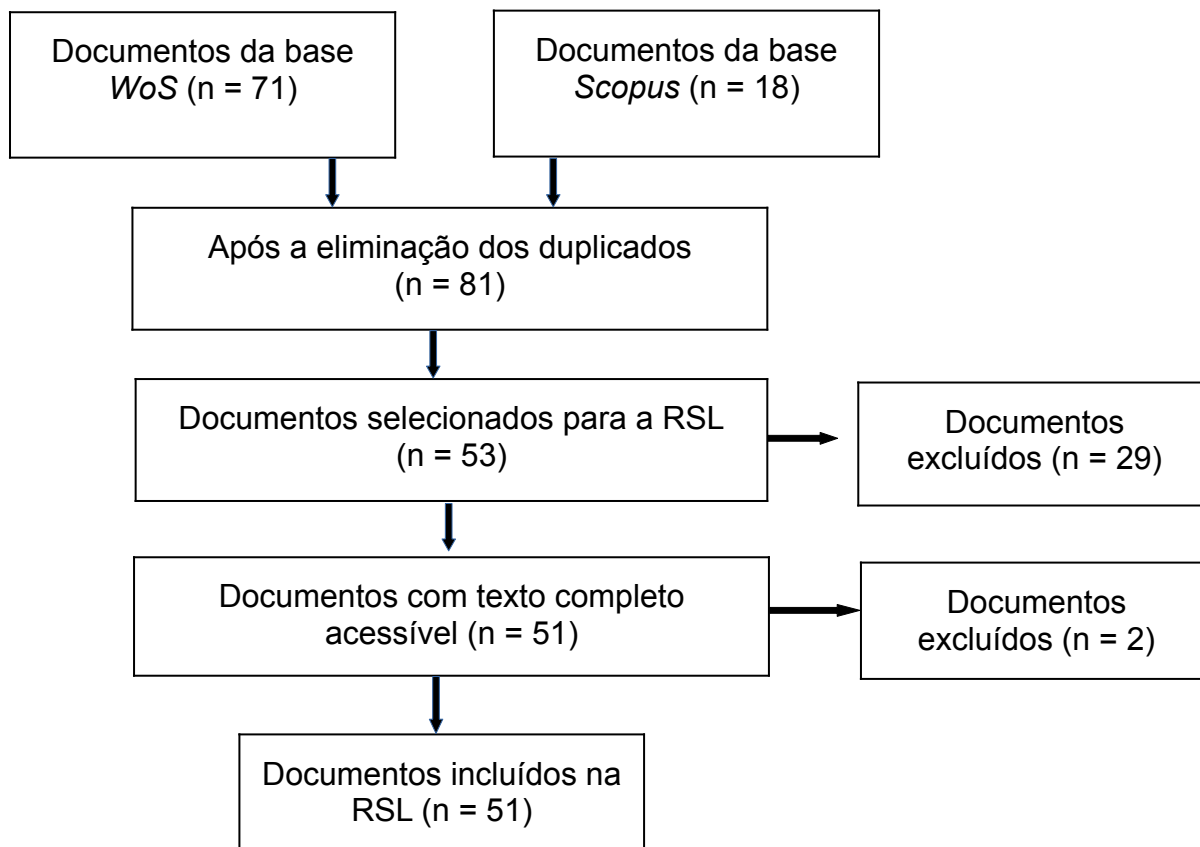
A metassíntese qualitativa é uma alternativa à metanálise dos resultados de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em pesquisas qualitativas (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016). Para ser possível obter conhecimentos mais amplos do que uma síntese de evidências, foi conduzida uma RSL (Petticrew; Roberts, 2006) com o escopo definido por meio de uma bibliometria que mapeou a divulgação de inovações tecnológicas adotadas no contexto do ALI.

Dos 81 artigos pesquisados, 53 foram incluídos no escopo da RSL, que foi iniciada como a leitura dos títulos e resumos; que resultou na seleção de 51 artigos que atenderam aos critérios de inclusão, que foram: estar acessível e abordar alguma inovação tecnológica. Todos os artigos abordavam inovações tecnológicas no contexto do ALI, entretanto os 2 artigos que compunham o *cluster* 12 foram excluídos nessa fase por terem sido considerados inacessíveis, porque foram publicados no idioma coreano. Uma síntese da construção do extrato final a ser revisado foi apresentada na Figura A.3 por meio de um diagrama “PRISMA”.

Os 51 artigos foram lidos na íntegra e extraídas as informações mais importantes para a pesquisa: o tema do artigo; a inovação tecnológica abordada; os

benefícios apresentados; e as limitações ou dificuldades para implementação da tecnologia.

Figura A.3 – Diagrama PRISMA da RSL



Fonte: adaptado de Liberati et al. (2009)

As informações levantadas nos artigos foram agregadas de acordo com os *clusters* iniciais, que se tornaram 14 após a exclusão do *cluster* 12, de modo que foram identificados os temas centrais, para onde convergiam as abordagens dos diferentes artigos de um mesmo agrupamento.

Seguindo a metodologia da metassíntese qualitativa (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016), foi possível agrupar os *clusters* por meio de síntese qualitativa, o que resultou na formação de 10 construtos, que são os temas em desenvolvimento no campo da pesquisa em ALI, como mostrado no Quadro A.3.

Quadro A.3 – As 10 Temáticas em Desenvolvimento da Pesquisa em ALI

10 Temáticas Principais	Nº	Tema do <i>Cluster</i>
Redes Complexas e Confiabilidade em Sistemas	1	Estabilidade em Sistemas Complexos
	12	análise de vibração de componentes em máquinas complexas
Detecção e Diagnóstico de Falhas em Componentes Mecânicos	2	Detecção de Falhas em Engrenagens
	3	Diagnóstico de Falhas em Máquinas

10 Temáticas Principais	Nº	Tema do <i>Cluster</i>
	7	Modelagem e Análise Dinâmica de Rolamentos
Gestão do Ciclo de Vida e Análise de Custos em ALI	4	Gestão do Ciclo de Vida e Análise de Custos em ALI
Metamateriais Acústicos com Rigidez Quase Zero	5	Metamateriais Acústicos com Rigidez Quase Zero
Análise de Sinais para Monitoramento de Condições	6	Monitoramento de Sinais de Corrente do Motor
Otimização de Máquinas Elétricas	8	Otimização Multiobjetivo de Máquinas Elétricas
	10	otimização de motores elétricos sem escovas
Amortecimento em Ligas Metálicas	9	Amortecimento em Ligas de Zinco-Alumínio
Termografia para Detecção de Defeitos	11	Termografia para Detecção de Defeitos
Modelagem de Sistemas Sujeitos a Degradação e Choques Aleatórios	13	Modelagem de Sistemas Sujeitos a Degradação
Eficiência Energética em Instalações de Bombas Submersíveis Elétricas	15	Eficiência Energética de Bombas Submersíveis

Fonte: elaborado pelo autor.

Foram conduzidas, então, as traduções recíprocas das 10 temáticas, fase seguinte da metassíntese qualitativa em que são analisados os construtos em busca de conexões entre eles, de modo a agrupá-los um nível mais alto de abstração, construindo novos construtos que podem representar novas perspectivas que não são evidentes em análises individuais. Desse modo, foi possível elaborar os construtos das tecnologias emergentes no campo da pesquisa em ALI, que correspondem às inovações tecnológicas que tiveram sua adoção disseminada por essa rede de autores. O Quadro A.4 apresenta uma “grades de construtos de segunda ordem” (Nye; Melendez-Torres; Bonell, 2016, p. 75).

Quadro A.4 – Tecnologias Emergentes no ALI

Tecnologias Emergentes na Pesquisa de ALI	Clusters
Modelagem e Simulação Computacional Avançada	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12 e 13
Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial	1, 2, 3, 7 e 12
Integração de Sistemas Avançados e Automação	8, 10 e 11
Sensoriamento e Aquisição de Dados por IoT (incluindo Termografia)	6, 11 e 15
Análise de Dados e Tomada de Decisões Baseada em Dados	1, 12, 13 e 15

Fonte: elaborado pelo autor

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa para elaboração de uma monografia, que é requisito para conclusão do Curso Superior de 2024 (C-Sup/2024) da Escola de Guerra Naval (EGN), que tem como objetivo entender as percepções sobre as tecnologias emergentes no contexto do Apoio Logístico Integrado (ALI) na Marinha do Brasil (MB). Sua participação é totalmente voluntária e todas as informações fornecidas serão tratadas com estrita confidencialidade.

QUESTÕES

A seguir serão apresentadas algumas questões acerca das 5 tecnologias emergentes no ALI, de acordo com uma revisão da literatura publicadas nos últimos 5 anos. As tecnologias serão apresentadas em tópicos contendo um resumo da abordagem, seguido por 3 perguntas relativas à sua percepção sobre a adoção da tecnologia, os benefícios potenciais e os desafios associados à implantação na MB.

1 Modelagem e Simulação Computacional Avançada

A modelagem e simulação computacional avançada emergem como ferramentas indispensáveis no ALI, permitindo a análise aprofundada e a previsão do comportamento de sistemas complexos. A utilização de modelos numéricos, como elementos finitos (FEM) e modelos dinâmicos, possibilita a avaliação do impacto de falhas e das interações entre componentes de um sistema. A simulação computacional também auxilia na otimização de projetos e no desenvolvimento de modelos de confiabilidade para sistemas sujeitos a degradação e choques.

a) Você conhece algum caso de adoção de modelagem e simulação computacional avançada para o ALI? Você conhece algum caso dessa adoção no contexto do ALI na MB?

b) Na sua visão, quais são os benefícios mais significativos para a MB da utilização de modelagem e simulação computacional avançada no ALI?

c) Quais desafios você percebe na adoção desta tecnologia dentro do contexto do ALI na MB?

2 Técnicas de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial

As técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial (IA) têm se mostrado promissoras no diagnóstico de falhas e na análise de sistemas complexos

em ALI. Estudos utilizaram redes neurais convolucionais e imagens simétricas de floco de neve para diagnosticar falhas em motores.

a) Você conhece algum caso de adoção de IA e aprendizado de máquina para o ALI? Você conhece algum caso dessa adoção no contexto do ALI na MB?

b) Quais benefícios você acredita que as técnicas de IA e aprendizado de máquina podem trazer para o ALI na MB?

c) Que desafios a implementação de IA e aprendizado de máquina, no ALI, pode enfrentar na MB?

3 Integração de Sistemas Avançados e Automação

A integração de sistemas avançados e automação é uma tendência crescente em ALI, com foco na otimização do desempenho e eficiência de máquinas elétricas e sistemas de monitoramento. Estudos exploraram a integração de diferentes tecnologias e componentes em máquinas elétricas para propulsão de aeronaves e investigaram configurações assimétricas e rotores híbridos. Além disso, desenvolveu-se um sistema de termografia 3D ativa que integra laser e câmera térmica para detecção de defeitos em materiais compósitos.

a) Você conhece algum caso de adoção da integração de sistemas avançados e automação em proveito do ALI? Você conhece algum caso dessa adoção no contexto do ALI na MB?

b) Quais são os principais benefícios dessa integração para o ALI na MB, na sua opinião?

c) Quais os obstáculos que podem dificultar a integração de sistemas avançados e automação no ALI na MB?

4 Sensoriamento e Aquisição de Dados por Internet das Coisas (IoT)

O sensoriamento e a aquisição de dados por IoT, incluindo a termografia, são cruciais para o monitoramento de condições e detecção de falhas em tempo real em ALI. Estudos utilizaram a análise de sinais de corrente do motor para monitorar condições em sistemas mecânicos e exploraram o uso de sensores e telemetria para monitorar o desempenho e o consumo de energia em instalações de bombas submersíveis. A termografia, como uma tecnologia de sensoriamento remoto, permite a coleta de dados de temperatura sem contato físico, sendo aplicada na detecção de defeitos em materiais compósitos.

- a) Você conhece algum caso de adoção de IoT e termografia no ALI? Você conhece algum caso dessa adoção no contexto do ALI na MB?
- b) Quais vantagens o uso de IoT e termografia oferece para o monitoramento e manutenção de sistemas, no contexto do ALI na MB?
- c) Quais são os principais desafios ao implementar essas tecnologias no ALI na MB?

5 Análise de Dados e Tomada de Decisões Baseada em Dados

A análise de dados e a tomada de decisões baseada em dados desempenham um papel fundamental na otimização de sistemas e processos em ALI. Estudos utilizaram dados para analisar falhas em sistemas reparáveis, simularam o impacto de custos na capacidade de redes de transporte e aplicaram técnicas de análise de dados para otimizar o consumo de energia em instalações de bombas.

- a) Você conhece algum caso de adoção de análise de dados e tomada de decisões baseada em dados para o ALI? Você conhece algum caso dessa adoção no contexto do ALI na MB?
- b) Como você vê o impacto da análise de dados e tomada de decisões baseada em dados na otimização de processos e sistemas no ALI na MB?
- c) Que desafios estão associados ao uso efetivo de análise de dados e tomada de decisões baseada em dados no ALI na MB?

6 Indicação de Outros Especialistas (conteúdo protegido pela LGPD)

Finalmente, gostaríamos de agradecer a sua participação e de pedir sua ajuda voluntária para expandir nosso estudo. Caso não se sinta confortável para responder as perguntas a seguir, deixe-as “em branco”. A ausência de resposta à esse item não invalida as respostas anteriores.

- a) Você poderia indicar outros especialistas em ALI na MB, que possam contribuir com perspectivas valiosas para esta pesquisa?
- b) Se possível, forneça também o contato, preferencialmente e-mail, e uma breve descrição da especialização do indicado, no contexto do ALI na MB:
- c) Se quiser receber os resultados desta pesquisa, inclua a seguir o seu melhor e-mail: