

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TATIANE BILCATI

**PROPOSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA MEDIR A MATURIDADE DE
DIGITALIZAÇÃO DE PORTOS**

PONTA GROSSA

2023

TATIANE BILCATI

**PROPOSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA MEDIR A MATURIDADE DE
DIGITALIZAÇÃO DE PORTOS**

Proposition of a tool to measure the digitalization maturity of ports

Trabalho de Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção/PPGEP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Luis Mauricio Martins de Resende.

Coorientador: Rui Tadashi Yoshino.

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



TATIANE BILCATI

**PROPOSIÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA MEDIR A MATURIDADE DE
DIGITALIZAÇÃO DE
PORTOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 20 de Novembro de 2023

Dr. Luis Mauricio Martins De Resende, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Vanina Macowski Durski Silva, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/11/2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pai misericordioso, que sempre está ao meu lado, por conseguir ser perseverante nos meus estudos, protegendo e guiando meus passos e toda minha trajetória.

A meu orientador Luís Mauricio Martins de Resende pela compreensão e ajuda no desenvolvimento deste trabalho, me dando força, principalmente nos momentos de desânimo. E ao co-orientador professor Rui Tadashi Yoshino, pelo acompanhamento e orientações durante este trabalho.

Dedico este trabalho em memória, ao meu pai Edson Bilcati, que foi fonte de inspiração de todo meu trabalho, e que sempre incentivou minhas conquistas.

A minha mãe Silvana Bilcati, meu símbolo de força e amor, por toda a paciência, apoio e direcionamento, que me deu estrutura para me tornar a pessoa que sou hoje.

A Géssica Katalyne Bilcati, minha irmã, pela parceria que me acompanhou em toda essa longa jornada, me apoiando e sendo referência para mim.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelos ensinamentos passados nas disciplinas cursadas.

RESUMO

Os portos, como parte da cadeia de abastecimento global, vêm sendo afetados pela digitalização, em seus processos de produção, devendo ser capazes de se adaptar de forma eficiente, minimizando operações improdutivas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta para mensurar o nível de maturidade de digitalização de portos, categorizados em três perspectivas de aplicação: logística, operação e planejamento e gestão. Para tanto foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura utilizando a metodologia Methodi Ordinatio. A partir da revisão bibliográfica definiu-se onde e quais são as tecnologias mais utilizadas em portos. A partir disso, desenvolveu-se uma ferramenta de pesquisa de maturidade, que foi validado por especialistas do setor portuário e posteriormente aplicado a um porto de referência da região sul. Como resultado, a ferramenta foi validada e melhorada pelos especialistas, e a aplicação dele se mostrou adequada e eficiente. O porto analisado classificou-se com nível de maturidade 1, apresentando uma maior maturidade na perspectiva de operações, obtendo-se destaque de emprego de tecnologias nos processos de manutenção do porto, bem como, as tecnologias totalmente implementadas foram a cibersegurança e integração com destaque nos sistemas de gestão de gates, manutenção, agendamento e controle de tráfego.

Palavras-chave: indústria 4.0; digitalização dos portos; portos; maturidade.

ABSTRACT

Ports, as part of the global supply chain, have been affected by digital transformations in their production processes, and must be able to adapt efficiently, minimizing unproductive operations. In this context, the objective of this work is to develop a tool to measure the maturity level of port digitalization, categorized into three application perspectives: logistics, operations and planning and management. To this end, a systematic literature review was developed using the Methodi Ordinatio methodology, with these analyzes being important for the construction of a theoretical model for analyzing digitalization maturity in ports. From the literature review, it was defined where and what technologies are most used in ports. From this, a maturity research tool was developed, which was validated by port sector experts and subsequently applied to a reference port in the southern region. As a result, the tool was validated and improved by experts, and its application proved to be adequate and efficient. The analyzed port was classified as maturity level 1, presenting greater maturity from an operations perspective, highlighting the use of technologies in the port's maintenance processes, as well as the technologies fully implemented were cybersecurity and integration with emphasis on in gate management, maintenance, scheduling and traffic control systems.

Keywords: industry 4.0; digitalization of ports; ports; maturity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sequência das fases da metodologia Methodi Ordinatio	19
Figura 2 – Gráfico de curva ABC de priorização de artigos	23
Figura 3 - Estrutura da dissertação	24
Figura 4 - Fluxograma de operação portuária	27
Figura 5 - Aspectos comparativos de terminal de contêineres.....	36
Figura 6 - Metodologia da Pesquisa	42
Figura 7 - Procedimentos para desenvolvimento de uma análise	45
Figura 8 - Fluxo de movimentação de cargas no terminal portuário.....	46
Figura 9 - Perspectivas de aplicação.....	47
Figura 10 - Etapas de construção da ferramenta proposta	49
Figura 11 - Estruturação do instrumento proposto.....	51
Figura 12 - Perspectivas de aplicações das tecnologias.....	53
Figura 13 - Emprego de tecnologias no setor portuário.....	57
Figura 14 - Comparativo em relação ao questionário inicialmente proposto ..	70
Figura 15 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva operação	76
Figura 16 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva logística.....	79
Figura 17 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva planejamento e gestão.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cadeia de valor do processo portuário	26
Quadro 2 - Evolução industrial	29
Quadro 3 - Modelos de maturidade na indústria 4.0	37
Quadro 4 - Classificação da pesquisa	43
Quadro 5 - Benefícios e limitações das tecnologias da indústria 4.0.....	54
Quadro 6 - Aplicação das tecnologias por perspectivas	58
Quadro 7 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva operação	59
Quadro 8 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva logística.....	60
Quadro 9 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva planejamento e gestão.....	61
Quadro 10 - Questionário consolidado	63
Quadro 11 - Questionário com as adequações sugeridas pelos especialistas	67
Quadro 12 - Questionário contemplando as adequações	71
Quadro 13 - Aplicação da ferramenta: perspectiva operação	75
Quadro 14 - Aplicação da ferramenta: perspectiva logística	77
Quadro 15 - Aplicação da ferramenta: perspectiva planejamento e gestão	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Palavras chaves e combinações	20
Tabela 2 - Percentual de exclusões por filtros aplicados	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BPR	Reengenharia de processos de negócios
CPS	Sistemas Ciber-Físicos
DGPS	GPS diferencial
EORE	Engenharia Organizacional em Redes de Empresas
InOrdinatio	Índice Ordinatio
IoT	Internet das Coisas
JCR	Journal Citation Reports
KPI	Key Performance Indicators
MINFRA	Ministério de Infraestrutura
OCR	Optical Character Recognition
PDS	Position Dynamics System
PNLP	Plano Nacional de Logística Portuária
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
RTGs	Guindaste Portuário Montado sobre Pneus
SJR	Scimago Journal & Country Rank
TT	Terminal Tractors
UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa	16
1.2.1	Contribuições	17
1.2.1.1	Econômica	17
1.2.1.2	Social	17
1.2.1.3	Acadêmica	17
1.3	Relação entre o tema do trabalho e o Grupo de pesquisa - EORE	18
1.4	Procedimentos para a realização da revisão de literatura	18
1.4.1	Determinação da intenção da Pesquisa	19
1.4.2	Pesquisa exploratória preliminar com palavras- chaves	19
1.4.3	Definição e combinação das palavras- chaves e pesquisa final nas bases de dados	20
1.4.4	Procedimentos de Filtragem	21
1.4.5	Levantamento do fator de impacto, ano e número de citações e ordenação dos artigos conforme InOrdinatio	21
1.4.6	Obtenção e leitura dos artigos	23
1.5	Estrutura do trabalho	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Operações portuárias	25
2.2	Indústria 4.0	28
2.3	Portos 4.0	31
2.4	Maturidade em logística e portos	37
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	41
3.1	Caracterização da pesquisa	43
3.2	Procedimento metodológico da pesquisa	44
3.2.1	Procedimentos para desenvolvimento da análise de conteúdo	44
3.2.1.1	Procedimentos de análise de perspectivas	45
3.2.1.2	Procedimentos de indicadores de avaliação	49

3.2.2	Procedimento de construção da ferramenta proposta.....	49
3.2.2.1	Definição dos níveis de maturidade.....	50
3.2.2.2	Proposição da ferramenta de pesquisa	50
3.2.2.3	Elaboração do questionário.....	50
3.2.3	Validação da ferramenta de análise com especialistas portuários	51
3.2.4	Aplicação do questionário em um porto de referência.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	Resultado da análise de conteúdo.....	53
4.1.1	Proporção de aplicação das tecnologias por perspectivas de estudo	53
4.1.2	Aplicação das tecnologias indústria 4.0 no setor portuário.....	54
4.1.3	Distribuição das tecnologias nas diferentes perspectivas	57
4.2	Desenvolvimento da ferramenta de pesquisa.....	58
4.3	Consolidação da ferramenta de análise	62
4.4	Resultado da validação da ferramenta por especialistas do setor portuário.....	66
4.4.1	Tecnologias não contempladas na ferramenta de análise	66
4.4.2	Outras aplicações não citadas na ferramenta de análise	66
4.4.2.1	Operação.....	66
4.4.2.1.1	<i>IoT</i>	66
4.4.2.1.2	<i>Integração</i>	67
4.4.2.1.3	<i>Emprego de outras tecnologias</i>	67
4.4.2.2	Logística	67
4.4.2.2.1	<i>Big data</i>	67
4.4.2.3	Gestão e planejamento	67
4.4.2.3.1	<i>Robótica</i>	67
4.4.3	Ferramenta de análise após adequações sugeridas pelos especialistas 67	
4.5	Aplicação da ferramenta de pesquisa	74
4.5.1	Diagnóstico Porto Referência.....	74
4.5.1.1	Perspectiva Operação	75
4.5.1.2	Perspectiva Logística	77
4.5.1.3	Perspectiva Planejamento e Gestão	79
4.5.2	Nível de maturidade do Porto Referência.....	81
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

5.1	Análise dos objetivos.....	84
5.2	Limitações e sugestões para trabalhos futuros	85
	REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A digitalização de processos produtivos tem como foco o desenvolvimento e aplicação da alta tecnologia, na qual os mundos físico e virtual se fundem através da integração de todas as etapas operacionais, refletindo, diretamente, nos âmbitos econômico, social e político, permitindo que recursos, informações, objetos e pessoas estejam conectados, estabelecendo assim, os pilares fundamentais de evolução para a produção industrial (Abreu *et al.*, 2017; Tropia; Silva; Dias, 2017).

Conforme a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD, 2022), os dois princípios-chave da digitalização na indústria, chamada de indústria 4.0 são:

- a) Automação e descentralização de tarefas - previsões e decisões, incluindo automação por robótica, processos de tomada de decisão e autocorreção, usando big data e inteligência artificial sem a necessidade de interferência humana.
- b) Interconexão e a capacidade de máquinas - sensores, dispositivos e pessoas se conectarem e trocarem dados e informações. A Internet das coisas permite que pessoas, dispositivos, algoritmos, inteligência artificial e outros componentes possam se comunicar e interagir, melhorando a eficiência, capacidade de produtividade e resolução de problemas.

Nesse processo, segundo Xisong *et al.* (2013), os principais portos do mundo passaram por três estágios de desenvolvimento: processo de implantação dos sistemas de informação na infraestrutura portuária, portos digitais e portos inteligentes, sendo este último baseado na moderna tecnologia da informação eletrônica, cuja característica envolve o fornecimento de vários serviços de informação para os atores portuários com base na coleta, processamento, liberação, troca, análise e uso das informações relevantes.

A crescente complexidade das cadeias de transporte, buscando a eficiência nas operações intermodais estão resultando na adoção generalizada de novas soluções de tecnologia da informação. E, diferentemente da maioria dos portos atuais, as decisões de fracionamento e agrupamento de cargas entre navios e outros modais não serão tomadas apenas com base em acordos de longo prazo por portos, mas cada vez mais de forma dinâmica e em tempo real, com o objetivo de reconsolidar os embarques dentro da zona portuária, implicando na necessidade de reconsiderar os

sistemas de informação atualmente usados e obter compreensão dos requisitos futuros para satisfazer suas necessidades (Fahim *et al.*, 2021).

O cenário de operação portuária atual é caracterizado por acirramento da concorrência entre portos, onde as decisões das alianças em relação à capacidade instalada, portos de escala e infraestrutura são determinantes para a escolha do porto destino, sendo influenciadas ainda por aspectos econômicos, políticos e tecnológicos abrangentes, dos quais a digitalização é fundamental. Dessa forma, os portos precisam reavaliar seu papel na logística marítima internacional e se prepararem para adotar inovações e tecnologias impulsionadas pela digitalização (UNCTAD, 2018).

Assim, a integração de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) e a Internet das Coisas (IoT) na logística possibilita um rastreamento em tempo real das cargas, melhora o manuseio de transporte, bem como torna a gestão de riscos mais precisa. Nesse contexto, a Indústria 4.0 em logística só poderá se tornar realidade se fornecer aos sistemas de produção os inputs necessários no momento certo, na qualidade certa e no lugar correto (Hofmann; Rusch, 2017).

A aplicação de inovações nos portos permeia todos os aspectos de um negócio portuário, incluindo operações, planejamento, projeto de desenvolvimento de infraestrutura e manutenção. As tecnologias relevantes podem ajudar a otimizar o tráfego, aumentar a eficiência operacional, transparência e agilidade do processo, bem como, reduzir ineficiências e erros. O impacto das tecnologias da indústria 4.0 nos portos provavelmente serão sentidas nas operações de carga e descarga, armazenamento e processamento industrial, incluindo manutenção preditiva (UNCTAD, 2018).

Tornar-se um porto inteligente, significa desenvolver soluções para enfrentar os desafios atuais e futuros, incluindo restrições espaciais, maior produtividade, riscos de segurança e ter foco na sustentabilidade. No aspecto econômico, a maior eficiência na logística do transporte marítimo, ou seja, quanto maior for a melhoria nos tráfegos e a gestão da sincronização de mercadorias, maior será o impacto sobre o preço final do produto, e isso se traduz em maior rentabilidade comercial (González *et al.*, 2020).

Tão promissor quanto os benefícios da quarta revolução industrial pode soar à primeira vista, é essencial observar que há muitos desafios, riscos e barreiras no que diz respeito à sua implementação. Em alguns casos, pode haver um atraso em atingir os níveis de produtividade esperados devido as diversas tecnologias adquiridas, porém não integradas, assim, a tecnologia é um facilitador chave, porém

não é o único parâmetro influenciador na produtividade dos terminais portuários (UNCTAD, 2018).

O alto custo de implantação é considerado a maior barreira interna à adoção de tecnologias digitais, independentemente do porte da empresa, sendo pontuados ainda os seguintes fatores: Estrutura e cultura da empresa; Falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento; Falta de conhecimento técnico sobre as tecnologias digitais; Dificuldade para integrar novas tecnologias e softwares; Infraestrutura de TI inapropriada; Tempo de implementação elevado e Risco para a segurança da informação (CNI, 2022).

Já em relação as barreiras externas que dificultam a adoção de tecnologias digitais o destaque está na falta de trabalhador qualificado, as demais barreiras levantadas são: Dificuldade para identificar tecnologias e parceiros; O mercado ainda não está preparado (clientes e fornecedores); Ausência de linhas de financiamento apropriadas; Infraestrutura de telecomunicações do país insuficiente; Falta de normalização técnica e Falta de regulação / regulação inadequada (CNI, 2022).

Assim, considerando as particularidades que envolvem a aplicação das tecnologias da indústria 4.0 nos processos portuários, o presente trabalho, busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: **Como mensurar o nível de maturidade de portos concernente ao processo de digitalização do mesmo?**

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta para mensurar o nível de maturidade de digitalização de portos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Levantar quais, das principais tecnologias da indústria 4.0, estão sendo aplicadas no setor portuário;
- b) Levantar as limitações na aplicação no setor portuário das principais tecnologias da indústria 4.0;
- c) Categorizar as principais tecnologias da indústria 4.0 conforme perspectivas de aplicação nas diferentes etapas logísticas do setor portuário;

- d) Desenvolver uma ferramenta de análise de maturidade para o setor portuário;
- e) Validar a ferramenta de análise com especialistas do setor portuário;
- f) Aplicar a ferramenta no setor portuário.

1.2 Justificativa

A inovação digital relacionada aos fluxos de carga tem sido a principal fonte de manutenção de sua competitividade nos últimos anos, mas ainda há bastante espaço para melhorias, pois segundo Heikkilä, Saarni e Saurama (2022), cerca de 80% dos portos ainda dependem de operações manuais, fazendo uso por exemplo de planilhas para gerenciamento de seus processos básicos.

No passado, as operações portuárias eram consideradas principalmente do ponto de vista da escala: comprimento do cais, número e eficiência dos guindastes, etc. Contudo, para atender a demanda de embarcações cada vez maiores, exigindo o sincronismo quanto ao pico de demanda por caminhões, pátios e conexões intermodais, os portos precisam repetidamente atualizar e otimizar suas operações (Heikkilä; Saarni; Saurama, 2022). No entanto, o crescimento físico dos portos e hidrovias torna-se ainda mais difícil e, em algum momento, atingirá seus limites, assim, reforça-se a importância do emprego de tecnologia para melhorar a performance de seus indicadores de desempenho e conectividade.

Os benefícios da digitalização, sobretudo a longo prazo são inegáveis e tornou-se uma ferramenta vital nos setores de logística e transporte, oferecendo oportunidades significativas, especialmente na melhoria da sua eficiência, produtividade, segurança e sustentabilidade. Contudo, a solução ou decisão errada tomada na implementação pode levar a grandes custos extras e perdas se a funcionalidade e a interoperabilidade não forem as ideais (Brunila; Kunnaala Hyrkki; Inkinen, 2021). Dessa forma, esse trabalho apresenta-se relevante, apresentando uma análise do estado de desenvolvimento das tecnologias aplicadas no setor portuário, evidenciando ainda suas principais restrições/ limitações de aplicação, bem como, seus principais ganhos.

1.2.1 Contribuições

1.2.1.1 Econômica

O transporte marítimo é responsável pela movimentação de 80% de todas as cargas do comércio mundial (UNCTAD, 2018), e segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2022), a expectativa é de crescimento no setor portuário nacional nos próximos anos, atingindo em 2026 a expectativa de movimentação de 1,402 bilhão de toneladas contra 1,360 bilhão de toneladas em 2025.

Assim, sendo os terminais portuários um elo importante da cadeia logística, e considerando a complexidade que envolve o compartilhamento de dados entre as partes interessadas, a contribuição é pertinente ao mapear as principais aplicações no setor portuário, apresentando a contribuição de especialista da área no aprimoramento a ferramenta teórica, fornecendo uma ferramenta de avaliação em relação ao quanto esses terminais portuários estão maduros frente a concorrência de mercado.

1.2.1.2 Social

Para a sociedade, a contribuição está atrelada às discussões relacionadas a qualificação profissional, referente a preparação dos colaboradores portuários para as novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, abrangendo ainda o aspecto de sustentabilidade através da otimização de suas operações, uma vez que, a adoção de tecnologia inovadora é pontuada como importante fator para alcançar a transição de uso intensivo de carbono para um modelo de porto de baixo carbono, orientando para a eficiência na otimização do tráfego de embarcações e caminhões que acessam o terminal portuário (Brunila; Kunnaala Hyrkki; Inkinen, 2021).

1.2.1.3 Acadêmica

Como contribuição Acadêmica, este trabalho busca contribuir para a disseminação do conceito da Indústria 4.0 e agregar conhecimento, em uma abordagem conceitual, no que tange as operações logísticas (com ênfase em portos).

1.3 Relação entre o tema do trabalho e o Grupo de pesquisa - EORE

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2023), compete ao profissional de engenharia de produção, o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, englobando recursos como: homens, materiais, tecnologia, informação e energia. Competindo ainda, especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente, atentando para critérios de qualidade, eficiência, custos, etc.

A pesquisa encontra-se inserida na área de engenharia organizacional, a qual apresenta um conjunto de conhecimentos relacionados à gestão das organizações, englobando em seus tópicos o planejamento estratégico e operacional, as estratégias de produção, a gestão empreendedora, a propriedade intelectual, a avaliação de desempenho organizacional, os sistemas de informação e sua gestão e os arranjos produtivos (Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2023).

O presente trabalho está inserido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa na linha de pesquisa Gestão do Conhecimento e Inovação, e ao grupo de pesquisa Engenharia Organizacional em Redes de Empresas (EORE).

Observa-se a integração entre o tema de pesquisa uma vez que colabora com o desenvolvimento de conhecimento referente ao impacto das tecnologias impulsionadoras da indústria 4.0, no setor portuário, considerando suas tecnologias, inovação, gestão, estrutura e estratégias.

1.4 Procedimentos para a realização da revisão de literatura

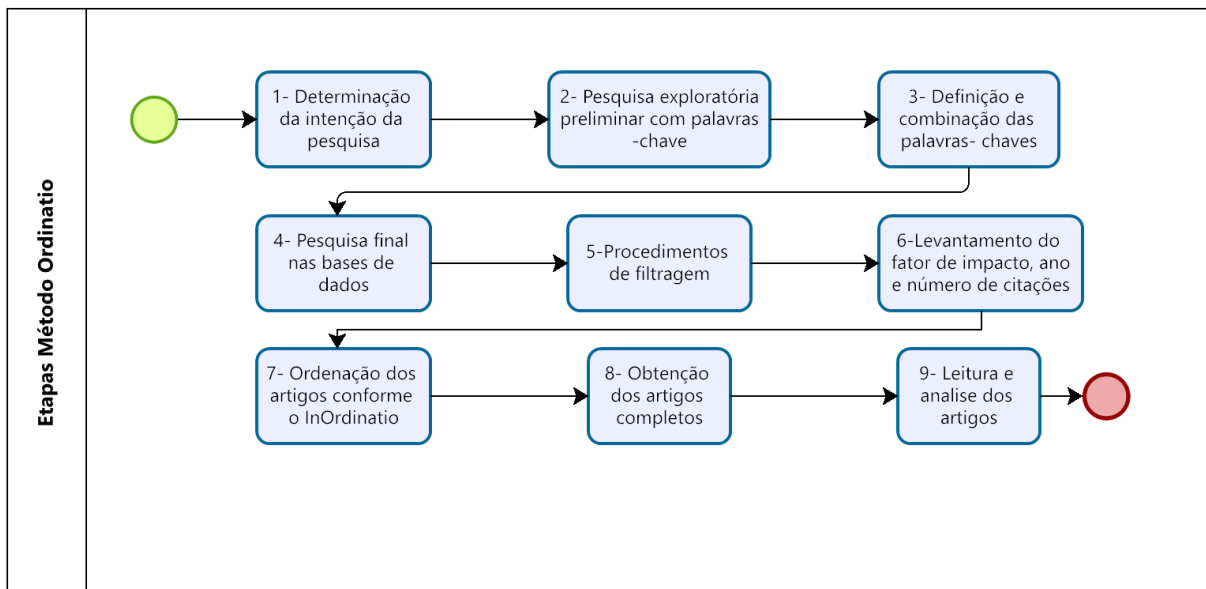
Os procedimentos para a realização da revisão da literatura no que tange as etapas de determinação da intenção da pesquisa até a ordenação dos artigos conforme o Inordinatio, serão abordados nesse capítulo introdutório uma vez que, a seleção do portfólio de artigos, foi o subsídio para a escrita do referencial teórico (capítulo 2).

Assim, para revisão bibliográfica foi empregada a estratégia metodológica *Methodi Ordinatio*, que de acordo com Pagani, Kovaleski e Resende (2015) consiste na seleção de portfólio através da aplicação do índice ordinatio (*InOrdinatio*), o qual

utiliza três critérios para classificação, sendo: ano de publicação, número de citações e fator de impacto. Essa metodologia permite selecionar, coletar, classificar e ler sistematicamente artigos científicos publicados em periódicos, assim, após a obtenção do InOrdinatio de cada artigo é possível classificar os artigos de acordo com sua relevância científica: quanto maior o valor do InOrdinatio, mais relevante é o artigo para o portfólio, sendo assim, a tarefa de classificação é realizada antes da análise sistemática, para que a importância do artigo seja reconhecida nas fases iniciais do processo.

A metodologia apresenta nove fases, ilustradas na figura 1, e serão detalhadas nos tópicos subsequentes.

Figura 1 - Sequência das fases da metodologia Methodi Ordinatio



Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015)

1.4.1 Determinação da intenção da Pesquisa

A intenção da pesquisa foi estabelecida utilizando como parâmetro a aplicação das tecnologias da indústria 4.0 no setor portuário, objetivando a elaboração de portfólio bibliográfico para construção do referencial teórico deste estudo.

1.4.2 Pesquisa exploratória preliminar com palavras-chave

Inicialmente foi realizada uma pesquisa, utilizando as palavras-chave “Industry 4.0” e “Port” nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct, por serem consideradas as bases com mais periódicos indexados, a fim de identificar

as principais palavras-chave a serem utilizadas para encontrar os artigos para compor o portfólio (Fase 1), esquematizada na tabela 1.

1.4.3 Definição e combinação das palavras-chave e pesquisa final nas bases de dados

Posteriormente, tendo definido os eixos da pesquisa: “eixo 1 – indústria 4.0” e “eixo 2- portos”, foi realizada nova busca nas bases de dados mantendo fixo o eixo 1 e variando o eixo 2 com palavras sinônimas (Fase 2), sequencialmente na fase 3 foi mantido fixo o eixo 2 variando o eixo 1 com as principais tecnologias da indústria 4.0, conforme palavras chave com maior número de ocorrência nos artigos analisados.

Os critérios definidos para a realização do passo 3 foram sem delimitação temporal e palavras chave em: resumo, títulos e palavras-chave, com exceção do Web of Science que foi utilizada a busca avançada em tópico.

As buscas foram realizadas no primeiro semestre de 2021, resultando em um total de 4.393 artigos. Para auxiliar nas buscas foram utilizados os gerenciadores de referências Mendeley e JebRef, sendo a quantidade de artigos encontrados em cada uma das bases apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Palavras chaves e combinações

Palavras- chaves e combinações	Base: Science Direct	Base: Scopus	Base: Web of Science	Total de artigos	Referência da Fase
"industry 4.0" AND "port"	05	53	166	224	1
"industry 4.0" AND "port 4.0"	01	02	01	04	2
"industry 4.0" AND "smart port"	02	04	02	08	
"industry 4.0" AND "port innovation"	01	01	01	03	
"industry 4.0" AND "seaports"	01	09	06	16	
"digitalization" AND "port"	453	84	28	565	3
"digitalization" AND "seaport"	9	24	9	42	
"IoT" AND "port"	34	498	213	745	
"blockchain" AND "port"	5	54	15	74	
"Internet of things" AND port	36	611	356	1003	
"big data" AND "port"	30	328	147	505	
"cloud computing" AND "port"	33	304	118	455	
"cyber security" AND "port"	9	127	38	174	
"autonomous robots " AND "port"	4	18	6	28	
"System Integration" AND "port"	27	156	43	226	

Palavras- chaves e combinações	Base: Science Direct	Base: Scopus	Base: Web of Science	Total de artigos	Referência da Fase
"Additive Manufacturing" AND "port"	8	89	34	131	
"Augmented Reality" AND "port"	11	77	52	140	
" Simulation and Modelling " AND "port"	21	26	3	50	
Total de artigos (Fases 1,2 e 3)	4.393				

Fonte: Autor (2022)

1.4.4 Procedimentos de Filtragem

Seguindo a metodologia Methodi Ordinatio, a fase de filtragem consistiu das seguintes etapas: (a) exclusão de artigos duplicados; (b) exclusão de artigos por falta de Informação; (c) Corte temporal (publicados a partir de 2011); (d) Exclusão de artigos após leitura do título; (e) Exclusão de artigos após leitura do resumo; (f) Exclusão de artigos após leitura na íntegra.

A proporção de exclusão em cada etapa segue detalhada na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentual de exclusões por filtros aplicados

Exclusões por filtros	Artigos duplicados	1.826	41,6%
	Livros, congressos e falta de informação	1.185	27,0%
	Leitura de título e resumo –	1.224	27,9%
	Corte temporal	5	0,1%
	Leitura na íntegra	153	3,5%
Total de artigos para análise sistemática - 153			

Fonte: Autor (2022)

Esta fase de filtragem possibilitou a construção do portfólio inicial de artigos. Porém o ranqueamento dos artigos mais relevantes para a pesquisa é descrito na próxima etapa metodológica, bem como, o portfólio final contemplando 102 artigos que correspondem a 80% do Inordinatio acumulado.

1.4.5 Levantamento do fator de impacto, ano e número de citações e ordenação dos artigos conforme InOrdinatio

A fim de eliminar dúvidas sobre qual aspecto é mais relevantes em um artigo, propõe-se a análise de três aspectos principais: relevância do periódico, avaliada pelo fator de impacto; o reconhecimento científico do artigo, avaliado através do número de citações; quão recente é o artigo, avaliando o ano de publicação (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015). Aplicando essas variáveis na fórmula do InOrdinatio,

permite que os artigos sejam ranqueados de acordo com sua relevância (ordem decrescente), para leitura na íntegra.

O ranqueamento se dá por meio da Equação 1 (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015).

$$InOrdinatio = (Fi / 1000) + \alpha [10 - (AnoPesq - AnoPub)] + (Ci) \quad (1)$$

Onde:

Fi = fator de impacto da revista de publicação do artigo;

α = valor que o pesquisador atribui ao ano;

AnoPesq = ano em que a pesquisa está sendo realizada;

Ano Pub = ano de publicação do artigo;

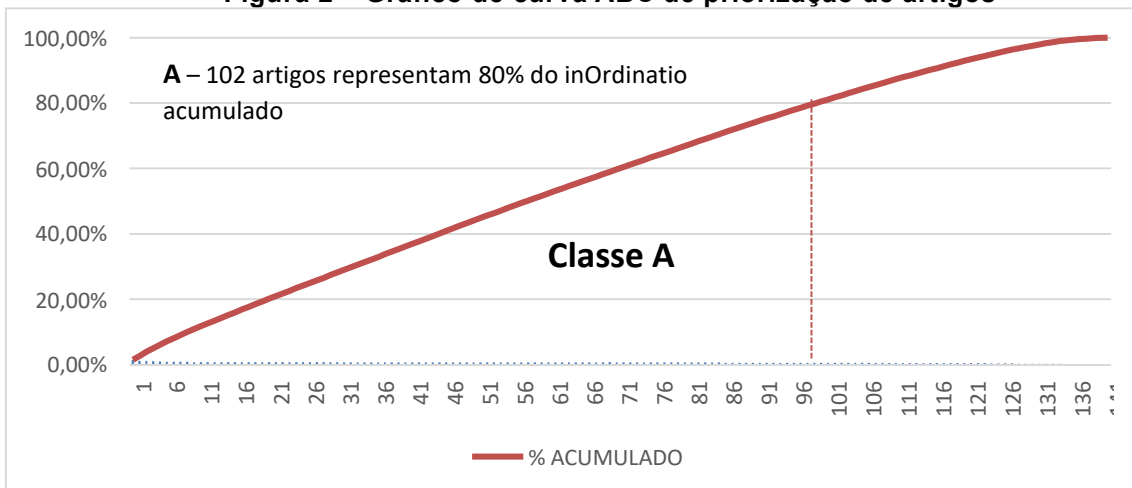
ΣCi = total de citações que o artigo possui (obtido por meio do Google Scholar).

Para o fator de impacto, foi utilizado como métrica o Journal Citation Reports (JCR), em seguida para os periódicos que não apresentaram JCR foi utilizado o Scimago Journal & Country Rank (SJR), sendo os respectivos valores dos fatores de impacto retirados do portal de periódicos Capes e através da lista fornecida pelo Scopus. Os números de citações foram retirados do Google Scholar, por conter citações referentes a uma quantidade maior de bases de dados.

Por se tratar de pesquisas relacionadas à tecnologia, e a atualidade da temática abordada, optou-se em utilizar o valor de α com peso igual a 10.

Devido ao quantitativo expressivo de artigos identificados, foi realizado um gráfico ABC para identificar os artigos mais relevantes para a pesquisa (Figura 2), sendo analisados os 102 artigos ranqueados, os quais correspondem a 80% do InOrdinatio acumulado.

Figura 2 – Gráfico de curva ABC de priorização de artigos



Fonte: Autor (2022)

1.4.6 Obtenção e leitura dos artigos

As fases 8 e 9 consistiram na obtenção e leitura por completo dos artigos selecionados para construção do capítulo 2 desta dissertação.

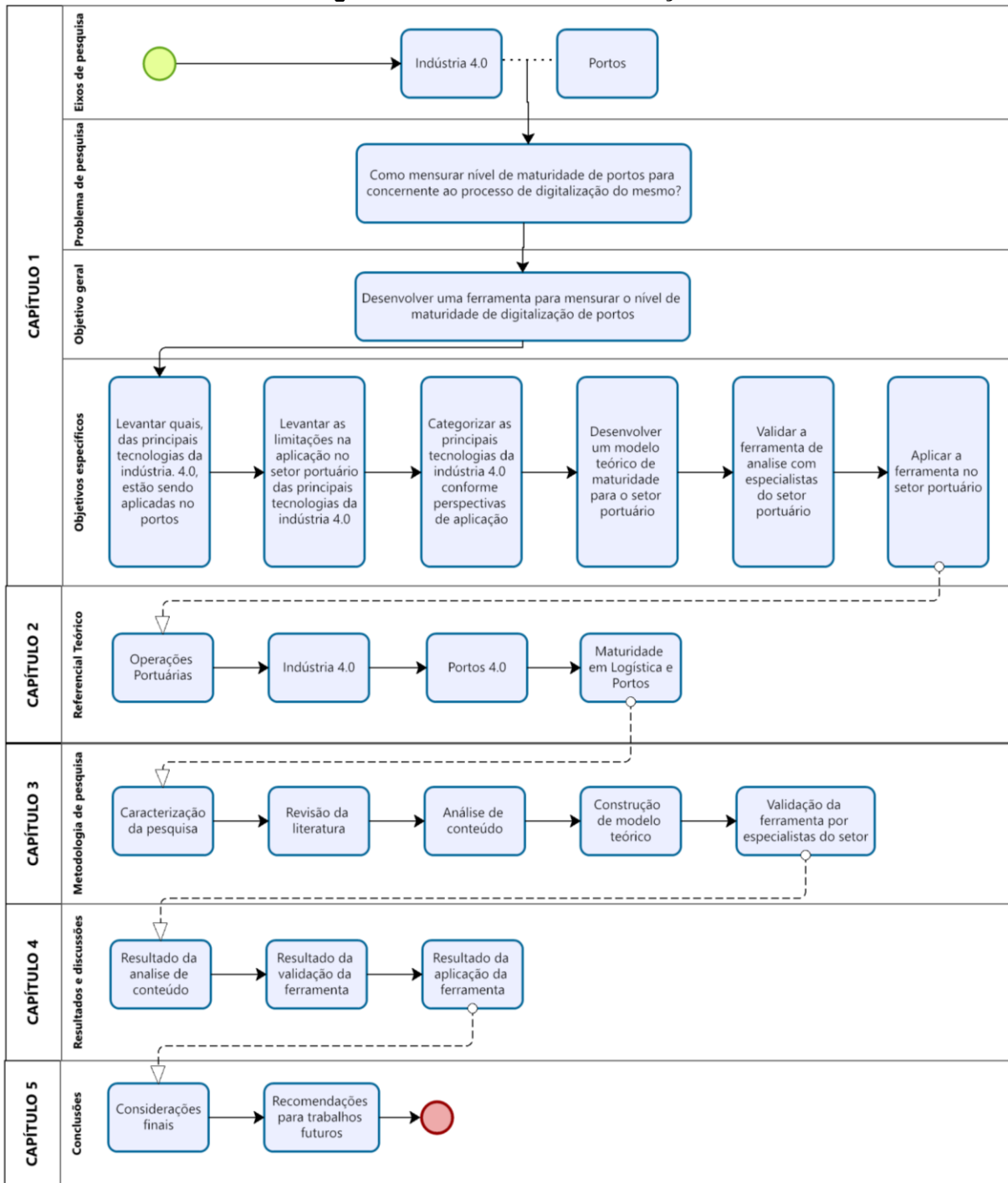
Segundo Bardin (1977), a análise de conteúdo tem como propósito obter o máximo de informações (aspecto quantitativo) com o máximo de pertinência (aspecto qualitativo), sendo uma fase preliminar da constituição de um serviço de documentação.

1.5 Estrutura do trabalho

Inicialmente este Capítulo 1 apresenta uma contextualização sobre o tema, assim como os objetivos e justificativa da pesquisa, abrangendo ainda, as etapas iniciais da revisão bibliográfica sistematizada.

A estrutura da dissertação segue detalhada na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura da dissertação



Fonte: Autor (2023)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo abordará o referencial utilizado para o fundamento teórico da pesquisa, visando a identificação da aplicação das tecnologias da indústria 4.0 no setor portuário, bem como, vantagens e restrições em sua aplicabilidade e demais fatores correlacionados. Estes conceitos nortearão a identificação das dimensões que darão suporte para construção da ferramenta de mensuração proposta.

2.1 Operações portuárias

Segundo El Imrani e Babounia (2016), os portos são pontos chave para países que almejam aumentar sua competitividade no cenário econômico global. A globalização dos mercados e a intensificação das transações comerciais e financeiras entre as diversas economias exigem que as empresas estabeleçam fluxos comerciais cada vez mais frequentes com fornecedores e consumidores, assim as trocas internacionais, bem como o comércio de mercadorias entre regiões de um mesmo país, vêm adquirindo crescente importância, tornando-se, para a maioria dos segmentos produtivos, pilares de sustentação de suas atividades (Uderman; Rocha; Cavalcante, 2012).

A importância dos portos tornara-se substancial nas últimas décadas, de acordo com as mudanças no transporte, tecnologias de informação e expansão dos mercados de clientes, estando atribuídos aos portos não apenas a capacidade em gerenciar o tráfego de cargas, mas também de controlar a importação e exportação de mercadorias do território portuário no modo automático, reduzindo o custo geral do transporte marítimo (Gurzhiy *et al.*, 2021).

A movimentação dos portos brasileiros engloba diversos itens de exportação, envolvendo desde produtos primários a bens de maior valor agregado, sendo assim, a competitividade do produto brasileiro passa necessariamente pela maior eficiência de seus processos e por menores custos de movimentação dos portos brasileiros (Dantas, 2013 *apud* Rodrigues *et al.*, 2017).

Dessa forma, a eficiência portuária é um fator que deve ser considerado, pois afeta de modo determinante a competitividade de um país. Nesse contexto de redução de custos e otimização de serviços de uma empresa/ou país sobre seus concorrentes, a tecnologia de informação e comunicação passaram a ter destaque estratégico no plano da organização das empresas, fazendo que sejam cumpridos com eficiência e

qualidade, reduzindo suas burocracias e aumentando a transparência nos processos (Rodrigues *et al.*, 2017).

A cadeia de valor do setor portuário é composta por transporte terrestre, armazenagem, trâmites, operação portuária e transporte marítimo, além da existência do exportador e do importador nas pontas do processo (CNI, 2016a), conforme ilustrado no quadro 1.

Quadro 1 - Cadeia de valor do processo portuário

Cadeia de Valor do Processo Portuário	
1. Transporte Terrestre	– Consiste em um tipo de transporte da carga do exportador até o porto ou do porto até o importador.
2. Armazenagem	— Abrange a armazenagem da carga em recinto alfandegado antes e/ou após a liberação da carga
3. Trâmites	— Envolve os trâmites necessários para liberação da carga na importação ou na exportação.
4. Operação Portuária	— Responsável pelo embarque e desembarque da carga do navio, bem como sua movimentação no porto.
5. Transporte Marítimo	– Consiste no transporte de longa distância entre os portos de origem e destino.

Fonte: Adaptado de CNI (2016a)

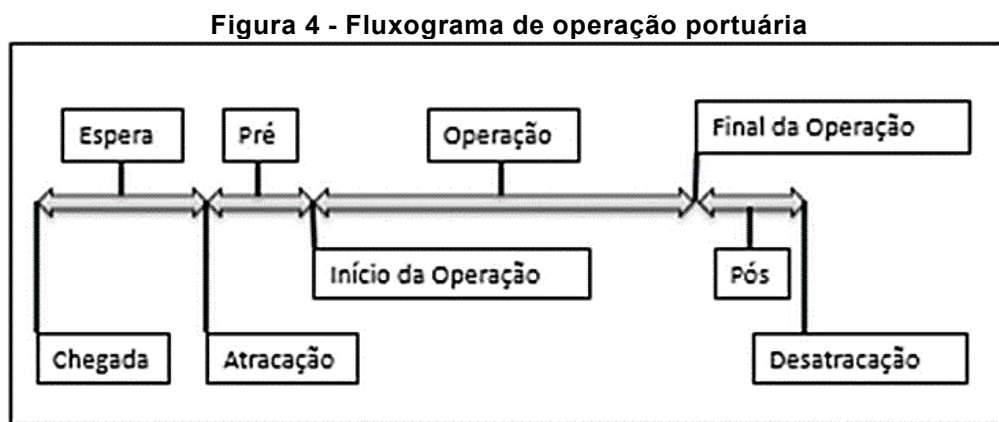
A falta de investimentos em infraestrutura no Brasil causou um impacto negativo no desenvolvimento do setor portuário e os portos se tornaram pouco equipados e preparados para atender as novas necessidades do transporte marítimo e prover a necessária agilidade no manuseio de cargas exigida pelos novos padrões internacionais (Vieira *et al.*, 2014). Segundo Sousa Junior *et al.* (2013), a redução dos custos pode ser atingida através da minimização das ineficiências e do melhor uso das infraestruturas, de forma a otimizar toda a cadeia de suprimento de qualquer produto, inserindo o país no cenário internacional com alto nível de competitividade.

Tendo em vista o cenário competitivo Silva, Silva e Motta (2012) discorrem sobre a necessidade das empresas em buscarem por um ambiente exigente de modo a norteá-las pela busca de inovação em seus processos de melhoria contínua visando a redução de custo ou diferenciação de produtos de maneira a melhorar a relação valor/ custo para seus clientes.

Segundo Uderman, Rocha e Cavalcante (2012) a necessidade de elevar os diferenciais de competitividade está presente em todos os elos da cadeia, abarcando desde as etapas iniciais do processo produtivo até as operações logísticas e a colocação dos produtos nos mercados consumidores a preços e condições atraentes. Nesse contexto, o transporte deixa de ser encarado como mero elemento de apoio à

atividade comercial, passando a se constituir em elemento indispensável da competitividade.

Conforme Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP) (Brasil, 2015), os terminais portuários podem ser divididos em componentes de processamento de fluxo caracterizados pelas instalações e equipamentos que transferem cargas de/para navios, barcaças, trens e caminhões (carregamento/descarregamento) e componentes de armazenamento compostos por instalações que armazenam a carga entre os fluxos. Na figura 4, é ilustrado o fluxograma de operação portuária.



Fonte: Adaptado do PNL (Brasil, 2015)

Assim, as etapas que compõem a operação portuária são divididas em:

- Etapa I – Chegada: representa a entrada da embarcação no canal de acesso;
- Etapa II – Espera: a embarcação permanece no aguardo para liberação de berço para atracação;
- Etapa III – Atracação: o navio é atracado ao berço;
- Etapa IV – Pré-operação: o navio é preparado para o carregamento ou descarregamento;
- Etapa V – Início de Operação: os serviços (carregamento/descarregamento) são iniciados pelo porto;
- Etapa VI – Operação: os serviços são realizados pelo porto;
- Etapa VII – Final da Operação: os serviços de carregamento/descarregamento são finalizados pelo porto;
- Etapa VIII – Pós-operação: o navio é preparado para a saída do terminal portuário;

- Etapa IX – Desatracação: o navio é desatracado do berço para sua partida.

O gerenciamento e as operações logísticas portuárias eficientes são essenciais para o comércio global e os serviços de transporte, porém, os atuais sistemas de manuseio de logística portuária são altamente centralizados e oferecem oportunidades limitadas de colaboração entre as diversas partes interessadas. Além disso, os sistemas existentes deixam de fornecer rastreabilidade, transparência, segurança da informação e imutabilidade dos dados armazenados e trocados durante vários processos operacionais, prejudicando a produtividade dos terminais portuários (Ahmad *et al.*, 2021).

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um dos termos utilizados para descrever a estratégia de alta tecnologia promovida pelo governo alemão que está sendo implementada pela indústria, abrangendo um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet com objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos (Santos *et al.*, 2018). Assim, a iniciativa Indústria 4.0 busca explorar o alto potencial econômico resultante da utilização de tecnologias de informação e comunicação na indústria (Assad Neto *et al.*, 2018).

Segundo Pereira e Simonetto (2018) a partir da Indústria 4.0, maiores complexidades poderão ser tratadas em processos produtivos, obtendo produtos personalizados a preços competitivos, bem como, o uso de tecnologias pode aumentar a competitividade da indústria brasileira perante o mercado global, o que pode ser visto como uma predisposição para a Indústria 4.0. Essa nova proposta de indústria tende a ser a nova perspectiva de um mercado cada vez mais exigente e altamente voltado para a era digital (Sakurai; Zuchi, 2018).

A Indústria 4.0 está provocando mudanças significativas em diferentes setores da economia. No entanto, essas mudanças estão muito além do setor industrial, impactando também na agricultura, comércio e serviços. Assim, a Indústria 4.0 surge mediante a um cenário de grandes evoluções tecnológicas e traz em seu contexto projetos de uma indústria do futuro, com impactos bastante notáveis e que tendem a mudar profundamente a sociedade (Sakurai; Zuchi, 2018; Tartarotti; Sirtori; Larentis, 2018).

Ao tratar desse tema no âmbito empresarial, gerentes, diretores e gestores, ainda acreditam que os métodos tradicionais de trabalho são eficazes, entretanto as indústrias 4.0 trazem, além da eficácia, a praticidade, qualidade e tecnologias de ponta (Pio; Gasparotto, 2019).

A Indústria 4.0 é resultado de uma evolução industrial e dos meios de produção, sendo demonstrada de forma cronológica sua evolução em relação ao tempo e complexidade, conforme ilustrado no quadro 2.

Quadro 2 - Evolução industrial

Evolução Industrial
1ª Revolução Industrial – Máquinas a Vapor.
2ª Revolução Industrial – Produção em Massa, Energia Elétrica.
3ª Revolução Industrial – Eletrônica, TI, Automação.
4ª Revolução Industrial – Sistemas Ciber Físicos.

Fonte: Adaptado de Menezes (2015) *apud* Rocha *et al.* (2018)

A Indústria 4.0 representa uma evolução natural dos sistemas industriais anteriores, desde a mecanização do trabalho ocorrida no século XVIII até a automação da produção atualmente (Santos *et al.* 2018). Conforme Passos (2020) observa-se que os principais avanços tecnológicos desse período são bastante diversificados e dominados por tecnologias mais sofisticadas, pela utilização maciça da internet e pelo domínio das tecnologias digitais.

Neste sentido, é necessário criar condições para acelerar a absorção das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, o que depende de melhorias no ambiente de negócios, na infraestrutura, nos programas de difusão tecnológica, no aperfeiçoamento regulatório, entre outros, bem como, é importante que as empresas estejam melhor preparadas para a mudança de paradigma, com o uso das novas tecnologias em seu processo produtivo, pois aquelas que deixam de acompanhar a rápida evolução tecnológica correm riscos de manter as suas atividades (Passos, 2020).

Segundo Santos *et al.* (2018) para que os processos industriais possam alcançar a flexibilidade e eficiência, bem como baixo consumo de energia e custos, as empresas precisam de uma estrutura integrada que permita o acesso às informações do nível da produção em tempo real. A tomada de decisão baseada em informações continuamente atualizadas possibilita uma reação mais rápida às alterações do mercado, proporcionando melhorias nos processos de decisão melhorando os

produtos e serviços, o relacionamento com os clientes, reduzindo os desperdícios e os custos e conseqüentemente melhoram os lucros.

Em alguns países a Indústria 4.0 já começa a se tornar realidade, inclusive com o apoio dos governos das principais potências econômicas, que a têm colocado no centro de suas estratégias de política industrial, o que cria um duplo desafio para o Brasil, pois, além de buscar a incorporação e o desenvolvimento dessas tecnológicas, é preciso fazê-lo com relativa agilidade a fim de evitar que o *gap* de competitividade entre o Brasil e seus principais competidores aumente (CNI, 2016b).

Rocha *et al.* (2018) apontam que diante da realidade nacional, a mudança no Brasil deverá ser gradativa, de forma que as empresas usem de sua capacidade financeira e estratégica para adequação ao novo modelo, uma vez que ainda que represente muitos ganhos de produção, pode demandar um grande investimento financeiro e reformulação no layout de produção.

Conforme Santos *et al.* (2018) um dos desafios mais críticos enfrentados pela Indústria 4.0 está relacionado com as pessoas, isso significa que as empresas que estão comprometidas com o paradigma da Indústria 4.0 terão que investir em programas de formação contínua e desenvolvimento capacitando seus operadores para lidar com as novas ferramentas e tecnologias. Nesta era, competências comportamentais são exigidas, tais como criatividade, capacidade de julgar e tomar decisões, autogerenciamento do tempo, mentalidade orientada para a aprendizagem, bem como competências sociais: habilidade de trabalhar em equipe, comunicação, liderança, capacidade de transferir conhecimento (Araújo *et al.*, 2020; CNI, 2016b).

O desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil envolve vários desafios que vão desde os investimentos em equipamentos que incorporem essas tecnologias, à adaptação de layouts, bem como, a adaptação de processos e das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva, englobando a criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências, entre outras. O cruzamento de informações que permite conectar o pedido de compra, a produção e a distribuição de forma autônoma, sem que pessoas precisem tomar decisões a todo tempo, por exemplo, exigirá novas formas de gestão e engenharia em toda a cadeia produtiva (CNI, 2016b).

Para Schwab (2016), as mudanças da quarta revolução industrial são profundas abrangendo três pilares, sendo:

- Velocidade: ao contrário das revoluções industriais anteriores, esta evolui em um ritmo exponencial (e não linear), sendo resultado do mundo multifacetado e profundamente interconectado em que vivemos;
- Amplitude e profundidade: possui a revolução digital como base e combina várias tecnologias, levando a mudanças de paradigma sem precedentes da economia, dos negócios, da sociedade e dos indivíduos. A revolução não está modificando apenas o “o que” e o “como” fazemos as coisas, mas também “quem” somos.
- Impacto sistêmico: envolve a transformação de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em empresas, indústrias e em toda sociedade.

A quarta revolução industrial não está relacionada apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas, seu escopo é muito mais amplo, as ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica, tornando a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das anteriores, através da fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos (Schwab, 2016).

2.3 Portos 4.0

Os sistemas de informação tornaram-se indispensáveis para a competitividade dos portos, facilitando a comunicação e tomada de decisão para aumentar a visibilidade, eficiência, confiabilidade e segurança nas operações portuárias, assim, a disponibilidade de informação é um fator crítico para garantir um processamento rápido de fluxos de carga de entrada e saída nos terminais portuários (Heilig; Voß, 2016).

Segundo Heilig, Lalla-Ruiz e Voß (2017) a digitalização está empurrando a indústria marítima além de seus limites tradicionais e oferece muitas novas oportunidades para aumentar a produtividade, eficiência e sustentabilidade da logística, assim, o conceito de portos inteligentes, por exemplo, visa adotar modernas tecnologias de informação para permitir um melhor planejamento e gestão dentro e entre portos, usando dados operacionais em tempo real para prever eventos futuros, envolvendo um pré-processamento avançado e análise de dados para extrair

informações e conhecimento, que podem ser usados no planejamento avançado e sistemas de apoio à decisão.

Os autores supracitados caracterizam ainda, três gerações de desenvolvimento portuário, derivado principalmente do papel da digitalização em operações portuárias importantes, sendo:

- 1ª Geração – Procedimentos sem papel: caracterizada pela grande transformação cultural dos portos marítimos, rápido crescimento do transporte em contêineres, principais avanços no sistema ERP e aumento da demanda por logística de valor agregado em portos marítimos
- 2ª Geração – Procedimentos automatizados: evidenciada pelo desenvolvimento de terminais automatizados, primeiras alianças de operadoras globais, problemas graves de trânsito e ambientais e aumento do interesse no sistema de janela única.
- 3ª Geração – Procedimentos inteligentes: caracterizada pela demanda crescente por melhor visibilidade e suporte à decisão nas operações portuárias, cooperação entre portos e universidades, e evolução em curso no setor de TI.

Enquanto a primeira e a segunda gerações de transformação digital se concentraram principalmente em estabelecer a base para melhores fluxos de informação em terminais e comunidades portuárias, em um contexto local ou global, a terceira geração concentra-se principalmente em empregar tecnologias inteligentes para medir e controlar a infraestrutura portuária (por exemplo, com base em sensores), tecnologias móveis para apoiar uma comunicação ativa entre os atores e plataformas de informação para apoiar uma troca de informações em tempo real, coordenação e colaboração entre atores portuários (Heilig; Lalla-Ruiz; Voß, 2017).

No entanto, Gorges (2021) contextualiza a evolução portuária, ponderando seis gerações, a saber:

- 1ª Geração - Porto público, com alguns indícios de interesse em privatização. Sendo ofertados somente serviços básicos como carga, descarga e armazenamento, gerando baixo valor agregado. Praticamente nenhuma preocupação ambiental é notada. Em geral, todos os processos são manuais, gerando alto risco de acidentes durante as operações. E, o relacionamento com o cliente é informal;

- 2ª Geração - Início da privatização dos portos e ampliação da área portuária, possibilitando a oferta de alguns serviços que agreguem valor às cargas. Atitudes com foco ambiental começaram a ser tomadas após acidentes ambientais. Dá-se início na aplicação de tecnologias, trazendo maior segurança e reduzindo o número de acidentes operacionais. Já a relação com o cliente e também com a cidade, ficam mais estreitas;
- 3ª Geração – Caracterizada pela expressiva utilização de contêineres e maior preocupação em agregar valor ao produto e serviço, criando centros de distribuição. Investimentos em equipamentos mais modernos são realizados para aumentar a eficiência dos serviços primários. Aumento da utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação, com ênfase para o gerenciamento controlado eletronicamente, através de sistemas de Intercâmbio Eletrônico de Dados (EDI). A conscientização ambiental aumenta. Os portos se tornam mais orientados ao cliente;
- 4ª Geração - Portos fisicamente separados, porém unidos por meio de operadores ou uma única administração, principalmente através de parcerias público-privadas. Há maiores investimentos em tecnologias a fim de aumentar a produtividade e eficiência. Planejamento e elaboração de políticas regulatórias. Ênfase na segurança portuária.
- 5ª Geração - Portos digitalizados e automatizados, com foco no cliente. Aspectos ambientais e energéticos têm grande peso nas tomadas de decisões. As novas tecnologias ampliam o leque de serviços que aumentam o valor agregado aos produtos. Colaboradores qualificados e operações com baixo risco de acidentes. Porto completamente conectado com a cidade e com seus players.
- 6ª Geração - Os terminais são completamente automatizados, e possuem conexões intermodais eficientes com o interior.

As tecnologias da indústria 4.0 vem aumentando a relevância para o transporte marítimo, contribuindo para a otimização de processos, criação de novas oportunidades de negócios e transformando a cadeia de abastecimento. A Internet das coisas, permitirá um crescimento exponencial de automação de processos, sendo a combinação da conectividade digital e física um fator importante na integração dos processos dos portos com a cadeia logística, bem como, a inteligência artificial se

aplica na análise de grandes volumes de dados gerados por sistemas de identificação, posicionamento global, e dispositivos de rastreamento de cargas, esses dados poderão ser armazenados com segurança no blockchain, tornando-os à prova de violação e rastreáveis (UNCTAD, 2019).

Conforme Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD, 2019), os efeitos da digitalização no transporte marítimo podem ser divididos em três etapas, sendo:

- 1) Otimização - maximizando a eficiência e confiabilidade nos processos existentes para reduzir os custos de negociação.
- 2) Extensão - indo além da eficiência para produzir oportunidades para novos serviços e negócios.
- 3) Transformação - reinventando a logística, modelos de comércio e negócios, com base em fluxos e mudanças de receita baseada em dados nos fluxos de comércio.

O setor marítimo está cada vez mais estruturado em torno de sistemas online e automatizados, aparecendo em navegação, operações portuárias, infraestrutura offshore e transações comerciais digitais. Plataformas online e sistemas de informação têm muitas vantagens, mas também expõem a indústria a novas ameaças e vulnerabilidades, notadamente o risco de ataques cibernéticos (UNCTAD, 2021).

Segundo Ministério de Infraestrutura (MINFRA, 2022) destacam-se os seguintes projetos de inteligência logística nos portos brasileiros, a saber:

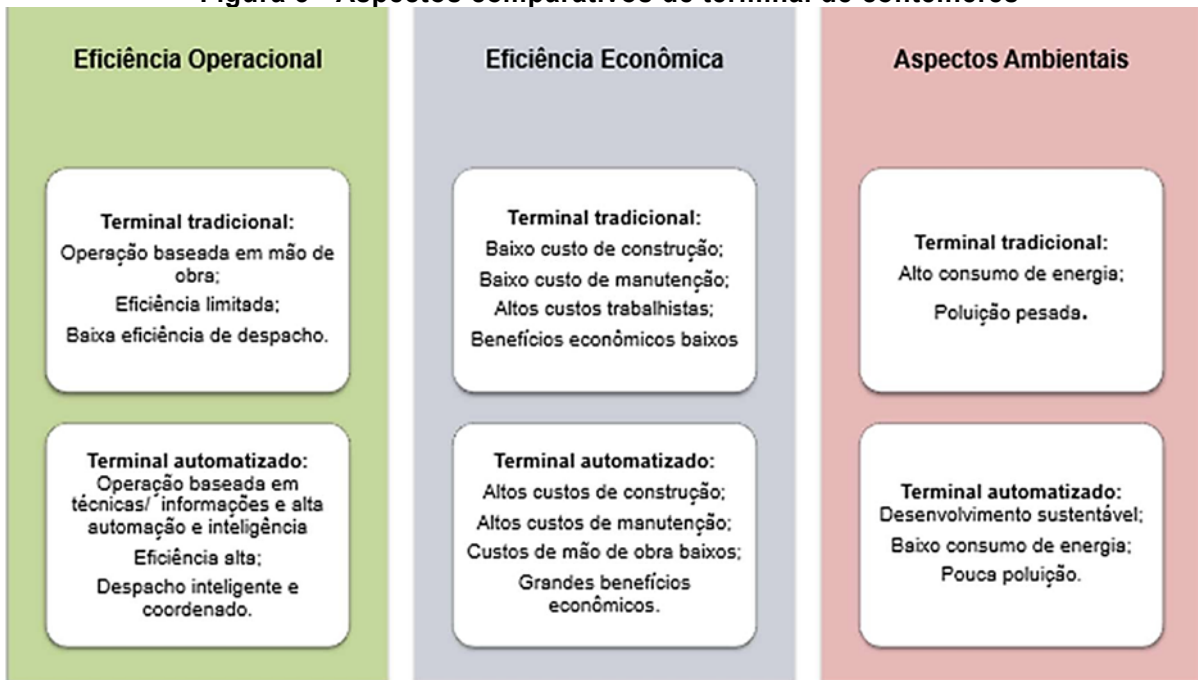
- a) Portaria inteligente - Portolog: objetiva o agendamento e sequenciamento de acesso de caminhões, a fim de sincronizar as datas de chegada dos navios e das cargas nos terminais, bem como, a programação e o credenciamento de veículos para uso racional e utilização da plena capacidade de acesso ao porto.
- b) Porto 24 horas: é um conjunto de ações coordenadas para assegurar a disponibilidade e continuidade ininterrupta da operação portuária, cujo objetivo é conferir agilidade aos processos e reduzir o tempo de espera para liberação das mercadorias, o que implica em menores custos de armazenagem, redução de filas, maior celeridade na tramitação de

licenciamento de importação e despacho aduaneiro, assim como na melhor utilização dos recursos.

- c) Tráfego portuário - VTMS: é um sistema de auxílio eletrônico à navegação, com capacidade para prover a monitoração ativa do tráfego aquaviário ampliando a segurança da vida humana no mar, a segurança da navegação e a proteção ao meio ambiente nas áreas em que haja intensa movimentação de embarcações ou risco de acidente de grandes proporções. O sistema caracteriza-se por ser uma poderosa ferramenta de gerenciamento de dados, pois realiza a integração de um grande volume de informações provenientes de dispositivos e sensores.
- d) Porto sem papel: é um sistema de informação que tem como objetivo principal reunir em um único meio de gestão as informações e as documentações necessárias para agilizar a análise e a liberação das mercadorias no âmbito dos portos brasileiros. O sistema atua como uma ferramenta de janela única portuária sendo utilizado de forma obrigatória em todas as etapas de navios nos portos públicos brasileiros.

Conforme Yang *et al.* (2018) porto inteligente pode ser definido como um porto totalmente automatizado onde todos os dispositivos são conectados, sendo a rede de sensores e centros de dados a infraestrutura chave para permitir o fornecimento de serviços essenciais de uma forma mais rápida e eficiente, tendo como principais impulsionadores a produtividade e ganhos de eficiência. Na figura 5 é ilustrada as comparações entre o terminal de contêineres tradicional e o automatizado.

Figura 5 - Aspectos comparativos de terminal de contêineres



Fonte: Adaptado de Yang *et al.* (2018)

Ferretti e Schiavone (2016) apontam como principais motivações para uma reorganização de processos de negócios baseada na IoT a melhoria da eficácia e eficiência, sendo a redução de custos a principal fonte de eficiência proporcionada por tal infraestrutura tecnológica. Além disso, a melhoria da qualidade é outro importante aspecto proveniente de tal mudança tecnológica. Assim, os módulos funcionais de portos inteligentes não são apenas domínios do BPR (Reengenharia de processos de negócios), sendo também, meios para criar valor extra e, otimizar a integração e coordenação entre os portos marítimos e suas partes interessadas.

Contudo, o nível de integração de diferentes dispositivos, agentes e atividades, juntamente com uma crescente conectividade entre diferentes portos criou um ecossistema no qual novos riscos surgiram, assim, a segurança cibernética é um dos desafios da indústria e os formuladores de políticas devem trabalhar junto com o setor privado para garantir que essas infraestruturas críticas sejam adequadamente protegidas (Zarzuelo, 2021).

Segundo Bracke *et al.* (2021), três eixos principais estão surgindo para moldar o que será chamado de 'o porto do futuro' que deverá ser:

- Inteligente, a fim de alcançar um melhor monitoramento e controle dos fluxos de carga, integrando novas tecnologias de IoT;

- Interligados, visando a melhoria da troca de informações entre o porto e a comunidade portuária, bem como para fornecer colaboração perspicaz com os parceiros (operadores de terminais, transportadores de carga, empresas de cruzeiros etc.) em toda a cadeia de valor;
- Verde, por meio da adoção de tecnologias verdes, a fim de reduzir o impacto ambiental das operações portuárias e economizar recursos.

2.4 Maturidade em logística e portos

Um modelo para medir o grau de prontidão para a adoção das tecnologias da indústria 4.0 permite avaliar como as empresas estão prontas para atingir esse objetivo e, ao mesmo tempo, identificar áreas de oportunidade para o desenvolvimento de ações que os posicionem de uma forma mais favorável. De acordo com a comparação entre a condição ideal e a situação atual da empresa e considerando cada uma das tecnologias facilitadoras como pré-requisitos, é possível identificar as ações gerenciais a serem adotadas para fomentar sua implementação. (Lucato *et al.*, 2019).

Segundo Basseto (2019), em seu estudo foram identificados 11 modelos de maturidade na indústria 4.0, sendo apontadas as necessidades de melhoria nos respectivos modelos, como a inserção dos componentes da Indústria 4.0, para que seja possível avaliar a real situação de uma Indústria 4.0, bem como, foi verificado que, os modelos apresentados não trazem todas as informações necessárias para analisar a maturidade da Indústria 4.0, tendo em vista que o tema vem sendo construído, assim como seus conceitos, características e componentes, destacando a necessidade de melhoria e evolução dos modelos. No quadro 3, são apresentados os principais níveis/ dimensões e métodos de avaliação encontrados.

Quadro 3 - Modelos de maturidade na indústria 4.0

Modelo	Autor	Dimensões/ Níveis	Método de avaliação
“Toolbox Workforce Management 4.0”	Galaske <i>et al.</i> (2018).	1) Habilidades difíceis (hard skills), 2) Habilidades suaves (soft skills), 3) Usabilidade e operabilidade (usability & operability), 4) Ambiente de trabalho (work environment)	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“DREAMY”	Carolis <i>et al.</i> (2017)	1) Processo; 2) Monitoramento e Controle; 3) Tecnologia e 4) Organização.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.

Modelo	Autor	Dimensões/ Níveis	Método de avaliação
“Industrie 4.0 Maturity Index”	Schuh <i>et al.</i> (2017)	1) Informatização; 2) Conectividade; 3) Visibilidade; 4) Transparência; 5) Capacidade Preditiva e 6) Adaptabilidade.	Apresenta os critérios do método.
“Indústria 4.0-MM”	Gökalp <i>et al.</i> (2017)	Nível 0 (incompleto), Nível 1 (realizado), Nível 2 (gerenciado), Nível 3 (estabelecido), Nível 4 (previsível) e Nível 5 (otimizado).	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“Maturity Model for Data Driven Manufacturing (M2DDM)”	Weber <i>et al.</i> (2017)	Nível 0 - Integração de TI inexistente; Nível 1 - Integração de dados e sistemas; Nível 3 - Orientação para Serviço; Nível 4 - Digital Twin; Nível 5 - Fábrica AutoOtimizadora.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“The IoT Technological Maturity Model”	Jæger e Halse (2017)	Nível 1: 3.0 de Maturidade; Nível 2: Maturidade inicial para 4.0; Nível 3: Conectado; Nível 4: Aprimorado; Nível 5: Inovação; Nível 6: Integrado; Nível 7: Extensivo; Nível 8: Maturidade 4.0.	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“Industry 4.0 Maturity Model”	Schumacher, Erol e Sihn (2016)	1)Produtos, 2)Clientes, 3)Operações, 4)Tecnologia, 5)Estratégia, 6)Liderança, 7)Governança, 8)Cultura e 9)Pessoas.	Apresenta os critérios do método.
“The Digital Maturity Model 4.0”	Gill e VanBoskirk (2016)	1) Cultural; 2) Organização; 3) Tecnologia e 4) Insight	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“Manufacturing Value Modeling Methodology”	Tonelli <i>et al.</i> (2016)	1) Reagir; 2) Antecipar; 3) Integrar; 4) Colaborar; 5) Orquestrar	Não apresenta os critérios do método de como irá ser avaliado o modelo.
“IMPULS - Industrie 4.0-Readiness”	Lichtblau, Goericke e Stich (2015)	1) Estratégia e Organização; 2) Fabricação Inteligente; 3) Operações inteligentes; 4) Produtos inteligentes; 5) Serviços orientados por dados e 6) Funcionários.	Apresenta os critérios do método

Fonte: Adaptado de Basseto (2019)

Pagano, Antonelli e Tardo (2022), faz uma abordagem acerca do possível caminho para padronizar os serviços de tecnologia da informação e comunicação - TIC que se espera que sejam entregues pelo chamado “Porto do Futuro”, agrupando os serviços de inovação em quatro categorias, a saber:

- Categoria 1: embarcação e navegação marítima;
- Categoria 2: logística (Intermodal);
- Categoria 3: transporte de passageiros;
- Categoria 4: sustentabilidade ambiental.

Lee, Chang e Chien (2011) apresentam um framework, que separa o ciclo de vida da inovação em seis fases (níveis de prontidão) e aborda a gestão do seu processo, considerando cinco aspectos-chave:

- a) Tecnologia: define como as formas e meios pelos quais os seres humanos produzem artefatos e efeitos materiais intencionais, incluindo toda a infraestrutura e conhecimento necessários para o projeto, fabricação, operação e reparação de artefatos tecnológicos;
- b) Mercado: refere-se aos grupos de consumidores ou organizações que estão interessados em tecnologia ou produto inovador.
- c) Organização: refere-se às partes das organizações envolvidas no processo de inovação, cujo objetivo é implementar a inovação, gerar serviços específicos e/ou produzir bens ao longo do ciclo de vida.
- d) Parceria: é um tipo de entidade empresarial em que os sócios (proprietários) partilham entre si os lucros ou prejuízos do negócio. Exemplos de parceiros incluem fornecedores, revendedores e parceiros de pesquisa.
- e) Risco: refere-se a um conceito combinado que denota um potencial impacto negativo na inovação ao nível empresarial.

Schumacher Erol e Sihm (2016), pondera em seu trabalho, conceitos relevantes para estruturação do modelo de maturidade, trazidos de seu referencial bibliográfico, por exemplo: os níveis de maturidade (geralmente 5 níveis em que 1 é o mais baixo), as dimensões (maturidade avaliada em 4 a 16 dimensões), o modo de avaliação (autoavaliação ou através de auditor externo) ou o modo de representação (representação numérica comumente visualizada usando gráficos de radar).

Triska *et al.* (2022), desenvolveram um modelo de maturidade aplicado a terminais portuários inteligentes, abrangendo cinco níveis de maturidade e, no que tange a aplicação das tecnologias, segue o descritivo, sendo:

- Nível 1 – Pré inteligente: inexistentes aplicações inteligentes;
- Nível 2- Inicial: muitos sensores que poderiam melhorar o conhecimento do sistema avaliado ainda não implementado, assim como, dados relevantes para tomada de decisão não aplicados;
- Nível 3- Intermediário: A maioria dos dados relevantes para tomada de decisão são aplicados; e as aplicações habilitam a interoperabilidade;

- Nível 4 – Avançado: dados gerados por sensores em toda a rede de partes interessadas é caracterizado pelos 5 Vs de Big Data; sem problemas relevantes de segurança cibernética; as aplicações permitem a interoperabilidade; e os dados são compartilhados entre muitas partes interessadas; e
- Nível 5- Tecnologia de ponta: Soma-se às características de aplicação do nível anterior, a aplicação dos dados do porto para fins de estudos científicos, bem como, para apoiar projetos pilotos de outros portos.

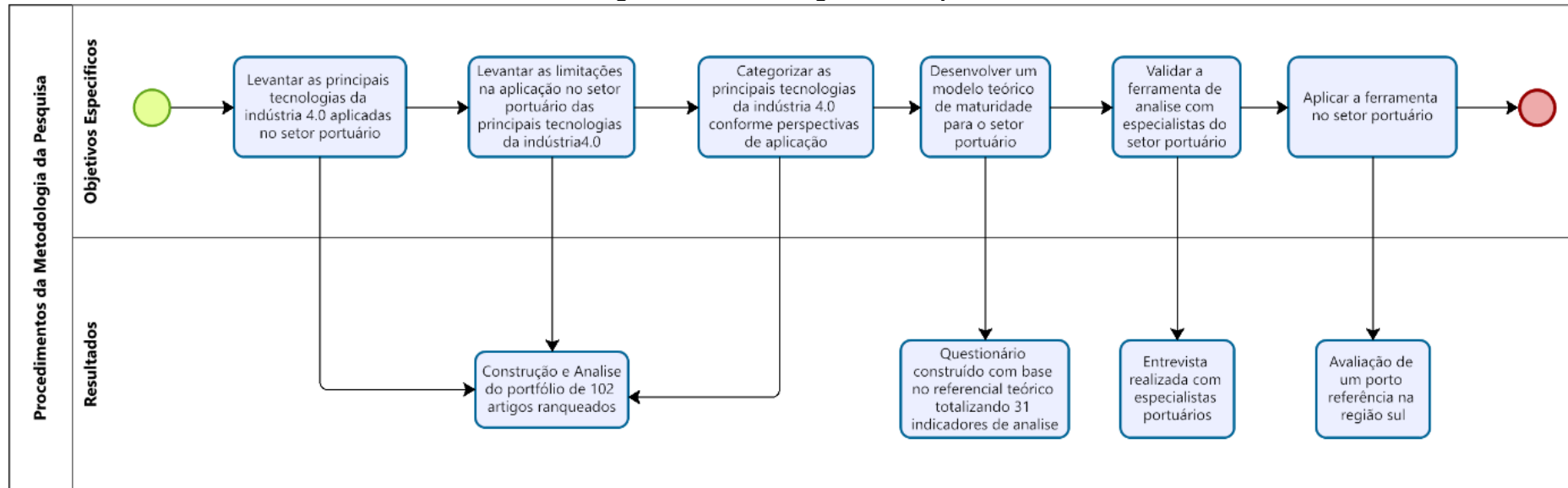
Segundo os mesmos autores, os desenvolvimentos de modelos de maturidade na área portuária ainda são escassos, contudo o modelo apresentado, esclareceu as diferentes etapas de inteligência portuária que pode aparecer ao longo da implementação de portos inteligentes, fornecendo ainda, meios para os planejadores portuários avaliarem o status atual da maturidade do porto inteligente de seu terminal.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa tem como propósito apresentar o caminho para que os objetivos sejam alcançados, sendo dividida em duas subetapas: caracterização da pesquisa e procedimentos metodológicos.

A metodologia para construção da ferramenta proposta será apresentada posteriormente, conforme exposto na Figura 6.

Figura 6 - Metodologia da Pesquisa



Fonte: Autor (2023)

3.1 Caracterização da pesquisa

Nesse tópico será apresentada a caracterização da pesquisa, segundo Turrioni e Mello (2012).

- a) Quanto à natureza, a pesquisa será caracterizada como aplicada, pois apresenta interesse prático, ou seja, com aplicação dos resultados encontrados. Nesse diapasão, o presente trabalho desenvolve uma ferramenta de mensuração do nível de maturidade para a implementação da Indústria 4.0 no setor portuário.
- b) Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, pois busca a partir de uma revisão bibliográfica mapear as variáveis provenientes da implantação da Indústria 4.0 sobre empresas do setor portuário, além de possibilitar o aprofundamento dos temas da pesquisa. A pesquisa exploratória objetiva proporcionar maior familiaridade com o problema de pesquisa com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses podendo envolver levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas ou análise de exemplos que estimulem compreensão.
- c) Quanto à abordagem do problema é classificada como pesquisa combinada, dado que a pesquisa segue fundamentada em uma revisão bibliográfica para identificação das variáveis, e posteriormente essas variáveis são transformadas em questionário, utilizando técnicas estatísticas para análise de dados.
- d) O método dessa pesquisa foi do tipo survey, pois envolve a interrogação diretas empresas do setor portuário cujo comportamentos se deseja conhecer.

Resumidamente, o quadro 4 apresenta a classificação de acordo com as perspectivas.

Quadro 4 - Classificação da pesquisa

PERSPECTIVA	CLASSIFICAÇÃO
De sua natureza	Aplicada
Dos objetivos	Exploratória
Do problema	Pesquisa combinada
Do método de pesquisa	Survey

Fonte: Autor (2023)

3.2 Procedimento metodológico da pesquisa

Em função da problemática da pesquisa deste estudo foram elaboradas três etapas:

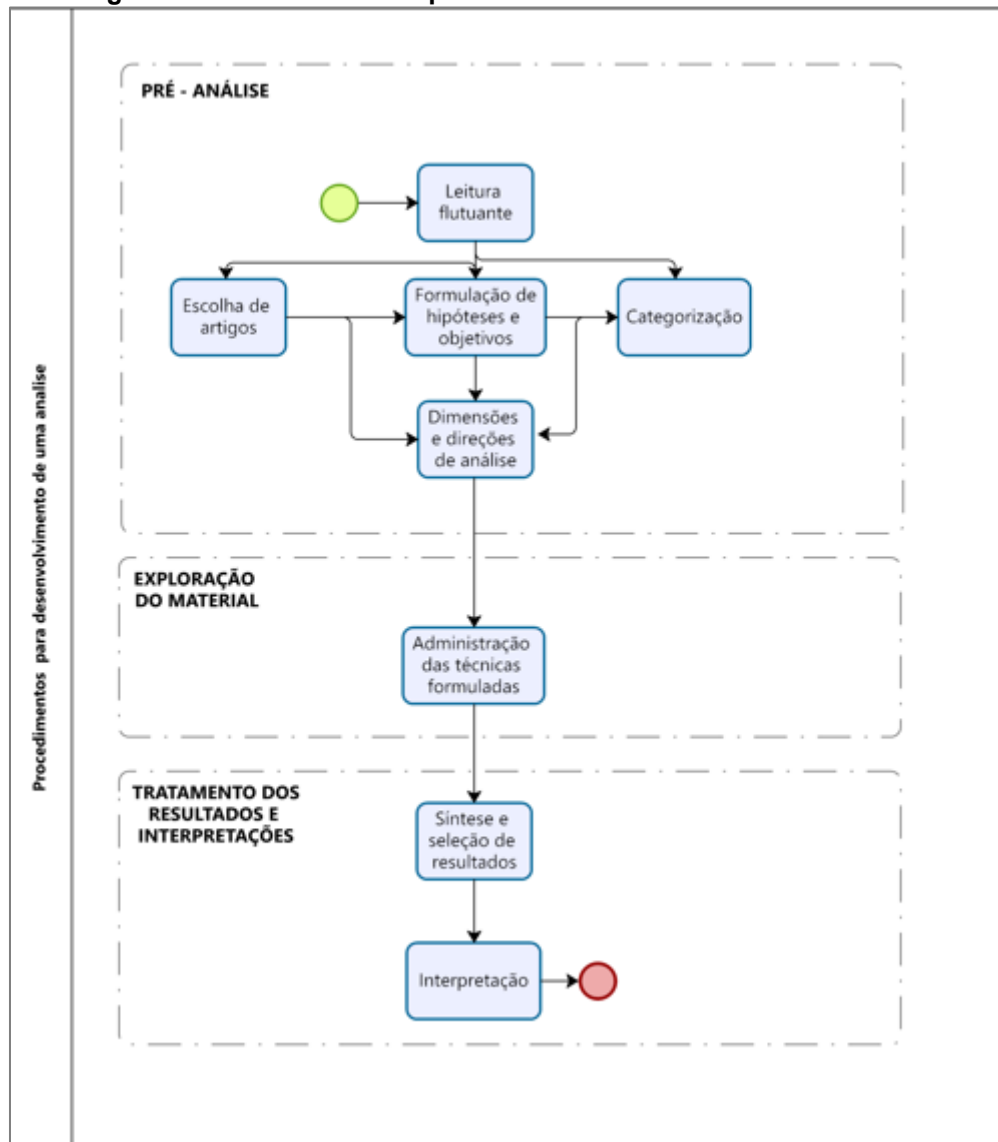
- a) Procedimento de análise de conteúdo;
- b) Procedimento de construção da ferramenta proposta;
- c) Procedimento de validação da ferramenta de análise com especialistas portuários.

3.2.1 Procedimentos para desenvolvimento da análise de conteúdo

Conforme Bardin (1977), a análise de conteúdo organiza-se em torno de três polos cronológicos, sendo: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados incluindo a interpretação deles.

A Figura 7 representa, de forma esquemática, cada uma dessas etapas, sendo detalhados na sequência os procedimentos adotados nesse trabalho.

Figura 7 - Procedimentos para desenvolvimento de uma análise



Fonte: Adaptado de Bardin (1977)

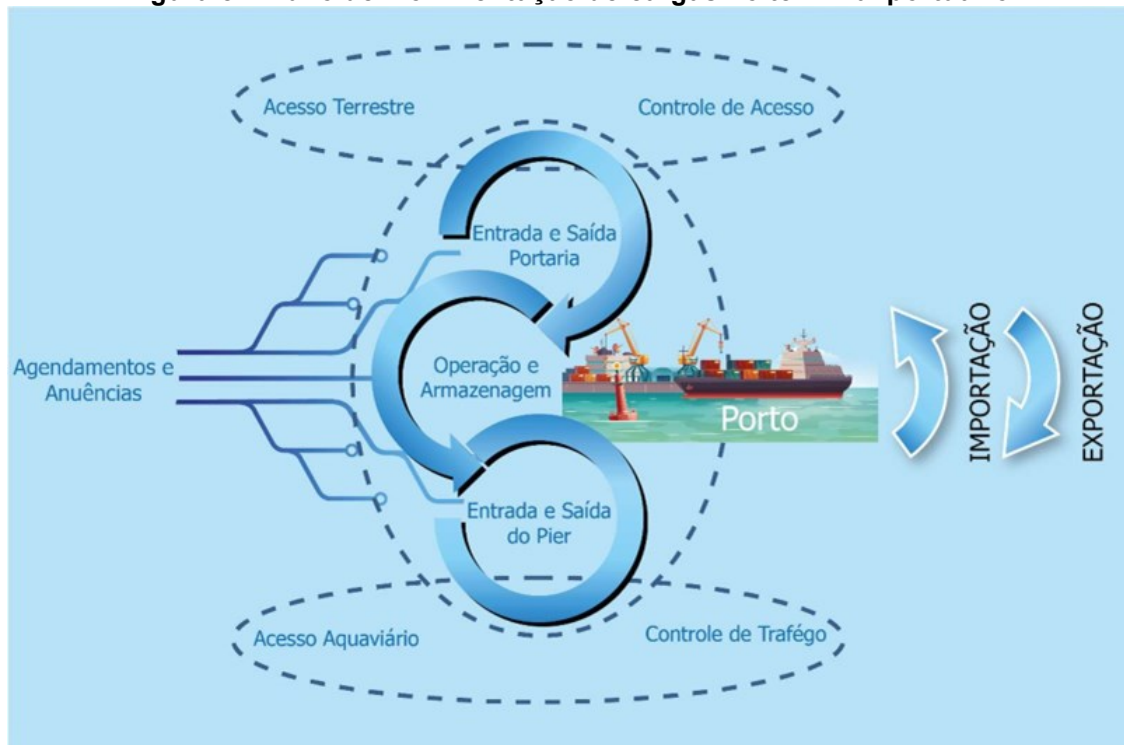
3.2.1.1 Procedimentos de análise de perspectivas

Ao analisar as conectividades dos portos, é essencial observar não apenas as operações que ocorrem na delimitação do porto, mas abranger toda a sua região de influência, envolvendo os acessos terrestres e aquaviários, bem como, a integração com a comunidade portuária englobando os agendamentos e anuências necessárias para que as importações e exportações sejam executadas.

Assim, com base na revisão bibliográfica, foi possível entender a logística do complexo portuário e respectivo fluxo de movimentação de cargas, sendo sintetizado esse entendimento na Figura 8, a qual contempla o sentido de movimentação de cargas no terminal portuário, englobando importação e exportação, bem como, a sua

natureza multimodal, envolvendo a integração entre o porto e a cadeia logística ao qual está inserido.

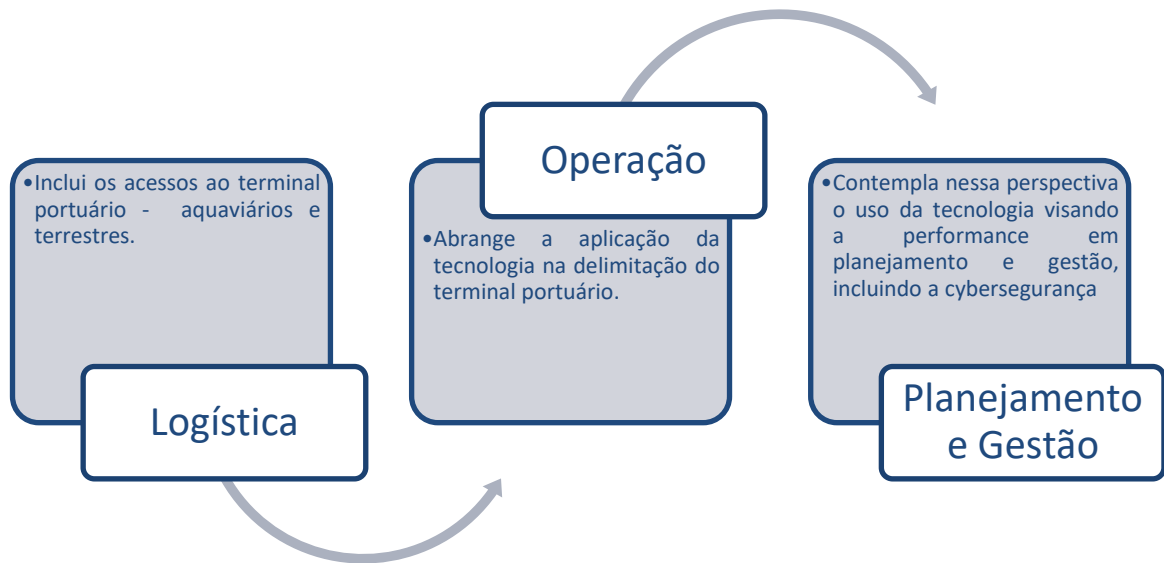
Figura 8 - Fluxo de movimentação de cargas no terminal portuário



Fonte: Autor (2023)

Durante a leitura percebeu-se que o emprego das tecnologias está dividido em dimensões conforme a aplicação, assim, com o resultado da análise de conteúdo emergiram três perspectivas, esquematizadas na Figura 9, sendo descritas a seguir.

Figura 9 - Perspectivas de aplicação



Fonte: Autor (2023)

a) Perspectiva Planejamento e Gestão

A crescente demanda por movimentação de cargas, juntamente com o compromisso da indústria para minimizar seu impacto ambiental, constituem fatores preponderantes para o aumento da ênfase na eficiência dos portos e navios (Sugrue; Adriaens, 2021). Sendo, a análise abrangente da competitividade portuária de grande importância para analisar os problemas relativos à gestão da operação, propondo alternativas de melhorias viáveis para tornar as operações eficientes, resolver o problema do congestionamento portuário e aumentar a segurança da navegação do porto. Além de avaliar a resiliência do terminal portuário sob possíveis eventos disruptivos devido ao seu design, operações e possíveis ações de recuperação pós-evento pré-definidas para mitigar o impacto da interrupção.

Aliado aos ganhos com o emprego da tecnologia, pontua-se também os riscos cibernéticos, assim, a maioria dos operadores portuários têm integrado cada vez mais a cibertecnologia nas atividades portuárias para aumentar sua competitividade, porém, infelizmente, essa digitalização se torna a maior vulnerabilidade para as ameaças cibernéticas (Senarak, 2021; Zarzuelo, 2021). Portanto, as instalações portuárias devem estar preparadas para essas ameaças por meio de estruturas holísticas de avaliação de risco para o desenvolvimento de ações proativas (Gunes; Kayisoglu; Bolat, 2021).

Assim, nessa perspectiva encontram-se as aplicações da Indústria 4.0 no âmbito da gestão, incluindo pesquisas acerca da competitividade portuária, resiliência e demais análises de suporte à decisão, abordando ainda, modelos baseados em simulação, enfatizando o gerenciamento de tráfego, carga e descarga, bem como, estão enquadrados os artigos relacionados à segurança cibernética, evidenciando que a digitalização não só carrega chances, mas também riscos, como uso indevido de dados, ataques cibernéticos, entre outros.

É contemplado ainda nessa perspectiva, investigação acerca das relações entre a higiene da segurança cibernética do porto e as ameaças cibernéticas (ou seja, hacktivismo, criminalidade cibernética, espionagem cibernética, terrorismo cibernético e guerra cibernética).

b) Perspectiva Operação

Com a presença de inteligência e sistemas de sensoriamento nos portos, diferentes áreas de operação passam a operar de modo automático, visando melhorar a produtividade do sistema portuário na movimentação de cargas, reduzir o tempo de espera para atracação, garantir a segurança operacional nas instalações portuárias, entre outros, associando para tanto, os equipamentos como guindastes nos cais, veículos guiados automatizados para movimentação de contêineres, e guindastes de pátio. Assim, nessa perspectiva estão contemplados os estudos com aplicação direta na operação portuária, detalhando as soluções de sensoriamento, padrões de comunicação para portos inteligentes e exemplos de implementação, considerando a integridade estrutural do terminal portuário.

As etapas que compõem a operação portuária compreendem desde a chegada da embarcação no canal de acesso até a desatracação para sua partida.

c) Perspectiva Logística

Para fins dessa pesquisa, a perspectiva de logística está relacionada aos acessos do porto, tanto terrestres quanto aquaviários, bem como, envolve a cadeia logística de distribuição da carga, integrando os diferentes modais de transporte. Considera estudos utilizando sistema IoT projetado para otimizar, gerenciar e monitorar as operações de transporte de cargas ao longo de um corredor intermodal, combinando programação ferroviária e transporte terrestre, envolvendo a integração de diferentes sistemas de informação em várias cadeias de abastecimento complexas,

apresentando aplicações em plataforma que monitora cada nó nos processos de encaminhamento de mercadorias dos embarcadores às transportadoras, com informações coletadas e transmitidas por serviços móveis ou da web, bem como, em sistemas de nomeação de caminhão externo visando à redução dos tempos de retorno do caminhão e do comprimento da fila (dos caminhões externos). Abrange ainda, exemplos de implementação de estruturas logísticas colaborativas através de contratos inteligentes facilitando a colaboração entre organizações e seus processos de negócios.

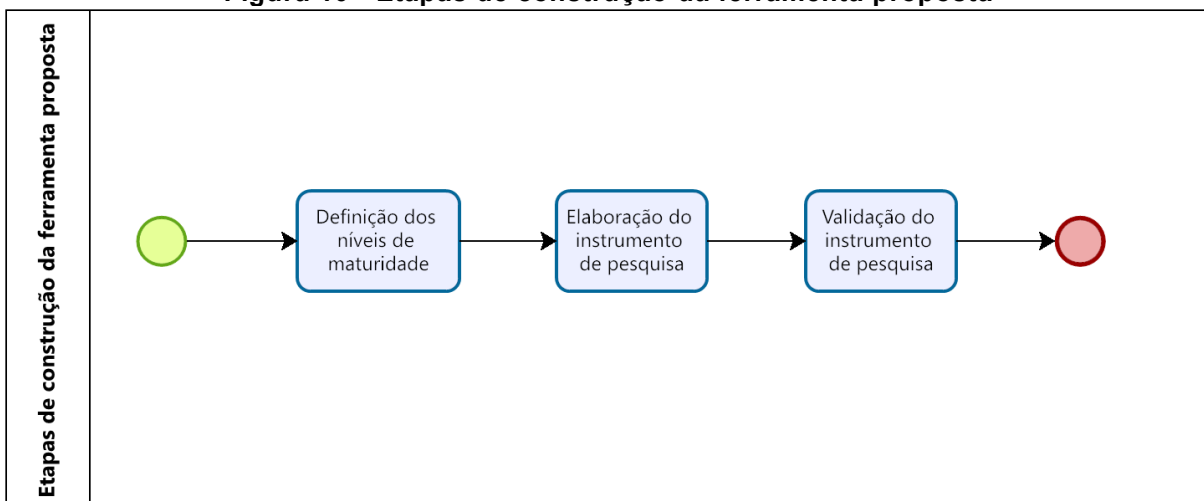
3.2.1.2 Procedimentos de atributos de avaliação

Com objetivo de mensurar o nível de maturidade de digitalização dos portos foram extraídas do referencial bibliográfico as tecnologias mais utilizadas em portos e correlacionadas com as respectivas perspectivas de aplicação. O resultado é apresentado no capítulo 4.

3.2.2 Procedimento de construção da ferramenta proposta

Após a fase de identificação das perspectivas, já descrita, iniciou-se a fase de concepção da ferramenta . As etapas são apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Etapas de construção da ferramenta proposta



Fonte: Autor (2023)

3.2.2.1 Definição dos níveis de maturidade

Como procedimento de avaliação do emprego das tecnologias em relação as perspectivas de aplicação, atribuíram-se respostas em cinco níveis diferentes, sendo cada nível caracterizado, conforme segue:

Nível 0: Não utiliza ou desconhece a tecnologia.

Nível 1: Utiliza pontualmente.

Nível 2: Razoavelmente utilizada.

Nível 3: Largamente utilizada com perspectivas de expansão.

Nível 4: Madura/ totalmente implementada.

Considerando a interdependência das perspectivas no contexto logístico, para essa ferramenta foi adotada como premissa a mesma ponderação, ou seja, a equivalência das perspectivas propostas.

A representação numérica é realizada através de gráficos de radar, endossado pelos trabalhos de Schumacher Erol e Sihm (2016) e Triska *et al.* (2022).

3.2.2.2 Proposição da ferramenta de pesquisa

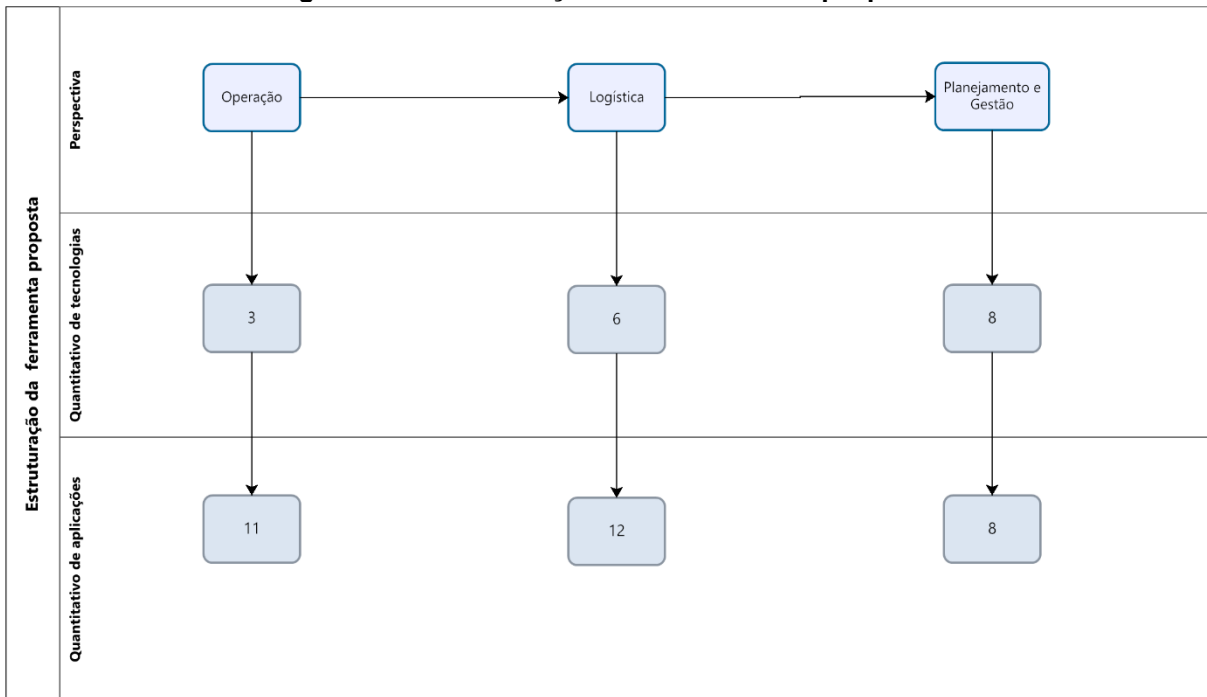
Após a fase de identificação das tecnologias por perspectivas de aplicação, já descritas, iniciou-se a fase de concepção da ferramenta de análise do nível de maturidade.

Como instrumento de pesquisa optou-se pelo uso de um questionário. Assim, através da revisão bibliográfica, foi possível elaborar o questionário no qual subsidiou a avaliação quanto a maturidade dos portos concernente ao seu processo de digitalização.

3.2.2.3 Elaboração do questionário

O questionário foi elaborado a partir da revisão bibliográfica, sendo a sua estruturação representada na Figura 11.

Figura 11 - Estruturação do instrumento proposto



Fonte: Autor (2023)

3.2.3 Validação do questionário com especialistas portuários

De modo a verificar a aderência dos resultados da pesquisa em relação a realidade do terminal portuário, foram realizadas no mês de maio de 2023 entrevistas com grupo de colaboradores multidisciplinar do porto referência, objetivando validar o instrumento proposto e mapear possíveis tecnologias não contempladas na ferramenta.

Utilizou-se como fator de escolha o porto localizado no litoral de Santa Catarina, por ser referência em inovação, utilizando equipamentos modernos e de última geração, estando entre os maiores terminais portuários do Brasil, com elevada capacidade de movimentação.

O questionário foi aplicado a colaboradores com notório conhecimento do setor portuário e que estão ligados diretamente no processo de inovação, totalizando 04 colaboradores entrevistados estando ligados as áreas de inovação, tecnologia e manutenção do referido porto.

3.2.4 Aplicação do questionário em um porto de referência

O terminal escolhido para validar o instrumento de pesquisa é um terminal de uso privativo de movimentação de contêineres, localizado na região sul,

estrategicamente posicionado entre os estados de Paraná e Santa Catarina, contendo dois berços de atracação, com calado máximo de operação de 12,80m.

Considerado um dos terminais mais ágeis e eficientes da América Latina e um dos maiores e mais importantes do País na movimentação de cargas containerizadas, possui uma estrutura capaz de movimentar 1,2 milhão de TEUs por ano, possuindo modernos equipamentos como portêineres, RTG's, Reach Stackers, entre outros.

O questionário foi aplicado aos colaboradores atuantes no setor, nas áreas de inovação, manutenção e engenharia e TI, compondo assim, uma visão multidisciplinar acerca do questionário aplicado, tendo o acompanhamento, em todas as entrevistas, pelo coordenador de inovação do porto de referência. Esse grupo multidisciplinar, validou e melhorou o questionário, respondendo posteriormente acerca da avaliação do porto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção são apresentadas as análises provenientes do estudo em questão, sendo apresentadas as análises das perspectivas e demais aspectos que serão utilizadas na construção da ferramenta. Por fim são apresentadas as análises obtidas após a validação por especialistas do setor portuário da ferramenta de maturidade proposta, além de apresentar os resultados da aplicação da referida ferramenta no porto de referência.

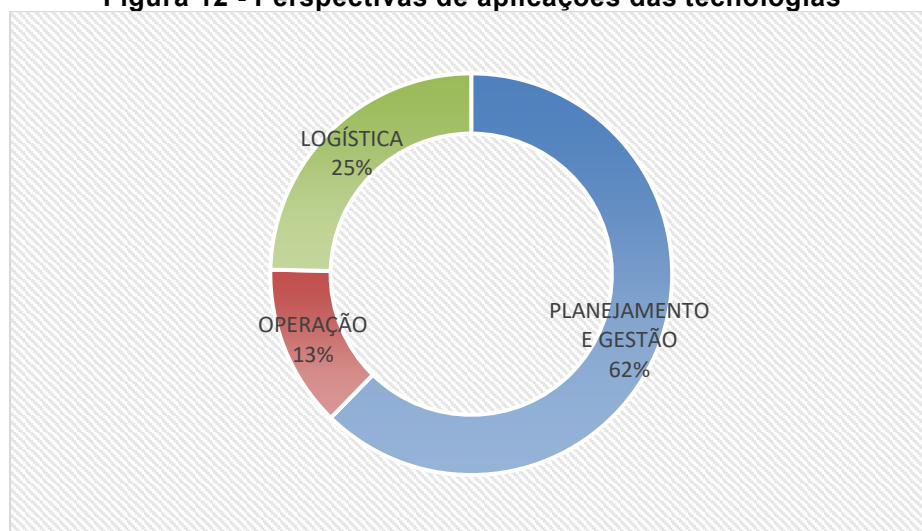
4.1 Resultado da análise de conteúdo

As próximas seções apresentam os resultados de análise do emprego das tecnologias no setor portuário, perspectivas, vantagens e limitações relativas a sua aplicação.

4.1.1 Proporção de aplicação das tecnologias por perspectivas de estudo

Após análise de conteúdo, os 102 artigos foram agrupados em três perspectivas: operação, logística e planejamento e gestão, tendo como base para essa caracterização os critérios de local e contexto de aplicação das tecnologias. A figura 12 apresenta a proporção das tecnologias da indústria 4.0 por perspectiva de aplicação.

Figura 12 - Perspectivas de aplicações das tecnologias



Fonte: Autor (2022)

A perspectiva com predominância de aplicação é a de planejamento e gestão totalizando a proporção de 62%, estando presentes nesse quantitativo o emprego das

tecnologias da indústria 4.0 na reengenharia de processos, modelode competitividade portuário, análise de cenários, sistema para quantificação deresiliência nos portos, entre outros.

Para a perspectiva de planejamento e gestão, observa-se uma predominância no emprego das tecnologias big data, simulação, gêmeos digitais, inteligência artificial e IoT. Já em logística, se destacam o blockchain e IoT. E, na perspectiva de operação o emprego de IoT ganha destaque, estando diretamente relacionado as soluções de sensores.

4.1.2 Aplicação das tecnologias Indústria 4.0 no setor portuário

Além da categorização por perspectivas detalhadas no subtópico anterior, a análise sistemática resultou na identificação das oportunidades e limitações decorrentes da aplicação das tecnologias no setor portuário, sendo apresentado no quadro 5 o resultado consolidado dessa análise.

Quadro 5 - Benefícios e limitações das tecnologias da indústria 4.0

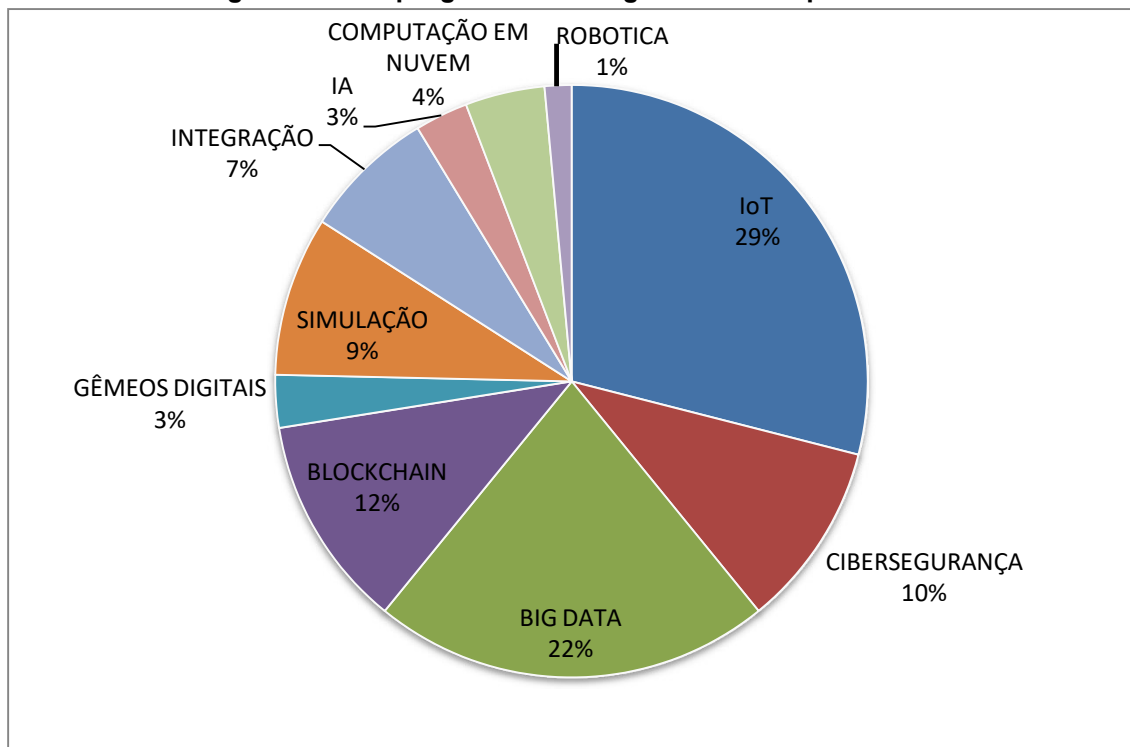
	BENEFÍCIOS	LIMITAÇÕES/RISCOS	AUTORES
IoT	Economia de custos de mão de obra, melhorando a eficiência da operação; benefícios econômicos, reduzindo o consumo de energia, melhorando o nível de segurança da operação; promoção da imagem do porto; maior controle da operação; ganhos quanto a integração e sustentabilidade; melhorias no planejamento e otimização de rotas; tomada de decisão colaborativa; detecção automática de falhas e manutenção preventiva no rastreamento de carga; monitoramento ambiental e operações com eficiência energética; atracação automática; redução dos tempos de retorno do caminhão e do comprimento da fila dos caminhões externos.	Planejamento estratégico eficiente; competências na gestão de projetos; projetar infraestruturas de IoT adequadas; colaboração das partes interessadas.	Yang <i>et al.</i> (2018) Ferretti e Schiavone (2016) Munuzuri <i>et al.</i> (2020) Khan (2017) Azab, Karam e Eltawil (2020) Siroka <i>et al.</i> (2021)
Big data	Análise abrangente da competitividade portuária; transparência das informações e o compartilhamento de conhecimento.	Custo de implantação	Peng <i>et al.</i> (2018) Tsou (2019) Yang <i>et al.</i> (2019) Xiao <i>et al.</i> (2020) Chou, Wen e Huang (2021)

	BENEFÍCIOS	LIMITAÇÕES/RISCOS	AUTORES
Cibersegurança	Segurança no controle	Oferta de treinamento e educação para todos os trabalhadores portuários, incluindo altos executivos, gerentes, e supervisores, são necessários para garantir uma cultura de conscientização sobre ameaças cibernéticas em todos os níveis organizacionais.	Polatidis, Pavlidis e Mouratidis (2018) Senarak (2021) Zaruelo (2021) Gunes, Kayisoglu e Bolat (2021)
Blockchain	Alcance da integração desejada de diferentes sistemas de informação em várias cadeias de abastecimento complexas; fornece rastreabilidade, transparência e auditabilidade por meio de dados de comprovação imutáveis de transações confiáveis na cadeia, de maneira descentralizada, sem intermediários ou terceiros; podem permitir que as organizações troquem dados entre si com segurança para a tomada de decisão colaborativa; pode ajudar a minimizar a emissão de carbono e tempo de inatividade total dos navios em função de dados em tempo real; compartilhamento confiável de dados logísticos transparentes entre os participantes; eliminar as chances de fraude relacionada a documentação envolvida na gestão e armazenamento de dados, frota, gestão, documentação comercial, certificação de ativos e tripulação e rastreamento de remessa; eficiência da transação e o confiança entre as autoridades e as diferentes organizações e stakeholders envolvidos no ecossistema logístico portuário.	Partes Interessadas	Tan, Zhao e Halliday (2018) Ahmad <i>et al.</i> (2021) Tsiulin e Reinau (2021)

	BENEFÍCIOS	LIMITAÇÕES/RISCOS	AUTORES
Gêmeos Digitais	Substitui as restrições relevantes no modelo para capturar detalhes operacionais, permitindo a replicação da multiplicidade de atividades complexas de interação e maior realismo na estimativa de resiliência; fornece a fidelidade necessária para realisticamente prever o desempenho do porto com ações de recuperação pós-evento tomadas em vários eventos de interrupção possíveis; proteger contra impactos de eventos de interrupção probabilisticamente conhecidos, esta abordagem também permite inclusão de incertezas operacionais comuns na avaliação de resiliência	-	Zhou <i>et al.</i> (2021)
Simulação	Avaliação dos impactos de eventos perturbadores nas redes de transporte marítimo regular; minimização dos custos de roteamento.	-	Achurra-Gonzalez <i>et al.</i> (2019)
Integração	Maior eficiência, abordagem just-in-time e economia de tempo; reduções no tempo de transporte; maior previsibilidade de transporte e melhor sustentabilidade e qualidade do transporte; os terminais economizam tempo e custos devido a um melhor planejamento de longo e curto prazo; melhor gestão de mão de obra e menos operações de movimentação de carga.	Intermodalidade; falta de informação; falta de clareza de informações; uso de dados não confiáveis e desatualizados; práticas de comunicação deficientes; processos de tratamento de dados não automatizados; uso de tecnologias obsoletas; fator humano; funções e responsabilidades pouco claras	Gonzalez <i>et al.</i> (2021) Kapkaeva <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autor (2022)

No portfólio de 102 artigos analisados, verificou-se uma predominância de aplicação da tecnologia IoT, representando 29% do total. A proporção entre as demais tecnologias pode ser observada na figura 13.

Figura 13 - Emprego de tecnologias no setor portuário

Fonte: Autor (2022)

Este item apresentou a análise de conteúdo abrangendo o levantamento das principais tecnologias aplicadas no setor portuário, e respectivas limitações em suas aplicações, bem como, a categorização das principais tecnologias da Indústria 4.0, conforme perspectivas de aplicação nas diferentes etapas logísticas do setor portuário.

Assim, após compreender o contexto da Indústria 4.0 nos terminais portuários, deu-se início à construção da ferramenta de maturidade proposta no capítulo 1, sendo esse o objetivo principal deste trabalho.

4.1.3 Distribuição das tecnologias nas diferentes perspectivas

As tecnologias foram distribuídas por afinidade entre as três perspectivas mapeadas, como exposto no quadro 6.

Quadro 6 - Aplicação das tecnologias por perspectivas

Perspectiva	Tecnologia	Autores
Operação	IoT	Yang <i>et al.</i> (2018); Khan (2017); Gonzales <i>et al.</i> (2021); Kapkaeva <i>et al.</i> (2021); Zhao, Wang e Han (2020); Spiliopoulos <i>et al.</i> (2020).
	Blockchain	Philipp, Prause e Gerlitz (2019); Wang <i>et al.</i> (2021).
	Integração	Gonzales <i>et al.</i> (2021); Kapkaeva <i>et al.</i> (2021); Zeng, Chan e Pawar (2021).
Logística	IoT	Muñuzuri <i>et al.</i> (2020); Azab, Karam e Eltawil (2020); Zhang (2021); Hofmann e Branding (2019); Fang (2020).
	Blockchain	Tan, Zhao e Halliday (2018); Ahmad <i>et al.</i> (2021); Philipp, Prause e Gerlitz (2019); Irannezhad (2020); Philipp (2020); Hackius, Reimers e Kersten (2020).
	Big data	Ren (2020); Jiang <i>et al.</i> (2019); Ding (2020); Hu (2019).
	Inteligência artificial	Jiang <i>et al.</i> (2019)
	Gêmeos digitais	Hofmann e Branding (2019)
	Computação em nuvem	Li, Sun e Wu (2019); Yang (2019).
Planejamento e Gestão	IoT	Ferretti, Schiavone (2016); Široka <i>et al.</i> (2021); Bracke <i>et al.</i> (2021); Fernández <i>et al.</i> (2016); Hiekata <i>et al.</i> (2021); Kusuma e Tseng (2020); Lacalle <i>et al.</i> (2020); Ozturk, Jaber e Imran (2018)
	Big data	Peng <i>et al.</i> (2018); Tsou (2019); Xiao <i>et al.</i> (2020); Chou, Wen e Huang (2021); Sugrue e Adriaens (2021); Hu <i>et al.</i> (2020); Hu (2020); Han (2020); Peng (2020); Cao, Duan e Zhao (2019); Sun <i>et al.</i> (2018); Ouyang (2019); Mao e Gan (2019)
	Gêmeos digitais	Zhou <i>et al.</i> (2021)
	Simulação	Achurra-Gonzalez <i>et al.</i> (2019); Yu <i>et al.</i> (2022); Klink, Sender e Flügge (2021); Almutairi <i>et al.</i> (2018); Gracia <i>et al.</i> (2019); Frazzon <i>et al.</i> (2019)
	Blockchain	Tsiulin <i>et al.</i> (2020)
	Integração	Simoni <i>et al.</i> (2022); Fedi <i>et al.</i> (2019); Zerbino <i>et al.</i> (2019)
	Robótica	Delea <i>et al.</i> (2020)
	Inteligência artificial	Jiang <i>et al.</i> (2019)
	Computação em nuvem	Wei (2019)
	Cibersegurança	Polatidis, Pavlidis e Mouratidis (2018); Senarak (2021); Zarzuelo (2021); Gunes, Kayisoglu e Bolat (2021); Alcaide e Llave (2020); Lou (2020); Chiappetta (2019)

Fonte: Autor (2023)

4.2 Desenvolvimento da ferramenta de pesquisa

A ferramenta de pesquisa desenvolvido está dividido em três partes. A primeira está relacionada às tecnologias empregadas na operação, contabilizando 11

exemplos de aplicações, extraídos da revisão bibliográfica, e detalhadas na coluna “aplicação”, conforme quadro 7.

Quadro 7 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva operação

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Operação	IoT - Sensores e sistemas embarcados que são conectados à Internet.	Sensores associados a guindastes, aplicação para monitoramento da integridade estrutural dos guindastes (detecção de falhas, microfissuras, trincas de solda e deformação plástica). Exemplo: Extensômetro					
		Sensores aplicados a veículos guiados automaticamente para detecção e manuseio de posição.					
		Sensores de imagem – OCR (Optical Character Recognition)					
		Etiquetas RFID					
	Blockchain - "Contratos inteligentes" o compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (terminais, agência marítima, operador portuário, rebocadores etc.) são armazenadas em um blockchain.	Plataforma de compartilhamento de informações					
		Incorporação adicional de aplicações IoT - Informações sobre as atividades de carregamento no porto podem ser carregadas e armazenadas no blockchain em tempo real					
	Integração	Sistema de tráfego de embarcações (aquaviário)					
		Sistema de informação mar/rio (aquaviário)					
		Sistema automatizado de pátio/gate (terminal)					
		Sistema de agendamento (terminal)					
		sistema de controle de tráfego (terrestre)					

Fonte: Autor (2023)

A segunda parte avalia o emprego das tecnologias em logística, computando um total de 12 exemplos de aplicação, extraídos da revisão bibliográfica, e detalhadas na coluna “aplicação”, conforme segue no quadro 8.

Quadro 8 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva logística.

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Logística	IoT	Subsistema baseado em IoT que fornece a localização em tempo real dos contêineres, permitindo assim a comunicação bidirecional com os mesmos e permitindo o agendamento das operações portuárias					
		Subsistema baseado em IoT que automatiza o acesso dos trens ao terminal, atribuindo-lhes trilhas e rotas e agendando suas chegadas e partidas					
		RFID para rastreamento de cargas					
		GPS para realizar em tempo real a gestão de cargas					
		Raio infravermelho para controle no transporte de veículos e controle antifurto					
	Blockchain	Blockchain para informações sobre frete de contêineres integrando e compartilhando informações entre despachantes, agências e seus clientes.					
		Gerenciamento de frotas: Os terminais portuários podem usar os registros de dados imutáveis da blockchain da localização, direção e velocidade das embarcações para preparar um plano de rota livre de colisões. Baseado nos potenciais pontos de colisão identificados usando os dados baseados em blockchain, podem acionar uma notificação para os comandantes de navios reencaminharem seus navios.					
		Compartilhamento de documentos comerciais - Conhecimento de embarque (representa um recibo de confirmação que é dado ao exportador pela transportadora como comprovante de envio)					
	Big data	Modelo de plataforma de compartilhamento de informações de transporte multimodal - transporte combinado ferroviário e aquaviário de contêineres no serviço de definição de janelas de operação					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Inteligência artificial	A tecnologia é aplicada para construir um modelo para melhorar a satisfação do cliente da cadeia de suprimentos portuária					
	Gêmeos digitais	A abordagem de gêmeo digital desenvolvida para a assistência do operador de despacho de caminhões em áreas portuárias. O gêmeo digital permite uma previsão do desempenho do sistema e avalia diferentes alternativas de política de despacho, assim, o operador pode se comunicar com as partes interessadas afetadas e decidir pela melhor configuração possível, mantendo o número de caminhões esperando no terminal dentro dos limites aceitáveis					
	Computação em nuvem	Otimização do caminho de agendamento e a capacidade de controle inteligente do porto através do método de programação de mínimos quadrados usado para projetar o caminho ideal de abastecimento de logística inteligente do porto					

Fonte: Autor (2023)

E, por fim, a terceira parte avalia as tecnologias empregadas na perspectiva de planejamento e gestão, pontuando 8 exemplos de aplicações, extraídos da revisão bibliográfica, e detalhadas na coluna “aplicação”, representados no quadro 9.

Quadro 9 - Exemplo de estrutura do questionário para avaliar a perspectiva planejamento e gestão

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Planejamento e Gestão	IoT	Sensores usados para extrair KPI (Key Performance Indicators); aplicação para melhorar os processos de negócios em portos marítimos (monitorar os fluxos de caminhões na estrada, calcular o volume de tráfego portuário e comunicar tais informações aos intervenientes portuários de forma a otimizar os seus fluxos de mercadorias; atraso e espera da função de carregamento/descarregamento)					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Big data	Modelo de competitividade de portos; combinação de fatores para inspeção dos navios que atracam no porto; usado na análise de operação do rebocador com foco no congestionamento portuário e aumentar a segurança de navegação do porto; planejamento e otimização de logística com base na análise de desempenho de hidrovias					
	Gêmeos digitais	Quantificação da resiliência de portos					
	Simulação	Aplicação na análise de roteamento de contêineres por diferentes cenários de transporte marítimo regular; otimização de trajetos em viagens marítimas integrando o comportamento do movimento do navio, características geográficas e os Regulamentos Internacionais para Evitar colisões no mar; estrutura metodológica desenvolvida para avaliar o impacto do aumento do nível do mar na operabilidade portuária usando modelos digitais					
	Blockchain	Avaliar até que ponto os cenários de blockchain para a indústria naval têm explicação prática da perspectiva dos portos marítimos					
	Robótica	Operações conduzidas com a ajuda de robótica aquática com diferentes configurações de equipamentos, que podem ser operados remotamente - Não aplicado					
	Inteligência artificial	Combina inteligência artificial e uma arquitetura baseada em agentes para realizar pesquisa de simulação de fluxo de tráfego portuário					
	Cibersegurança	Análise através do gráfico de ataque; método integrado de avaliação de risco cibernético para um porto de contêineres;					

Fonte: Autor (2023)

4.3 Consolidação da ferramenta de análise

Dessa forma, consolidando as perspectivas, foi obtido o questionário, apresentado no quadro 10, totalizando 31 atributos.

Quadro 10 - Questionário consolidado

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal					
			0	1	2	3	4	
Operação	IoT - Sensores e sistemas embarcados que são conectados à Internet.	Sensores associados a guindastes, aplicação para monitoramento da integridade estrutural dos guindastes (detecção de falhas, microfissuras, trincas de solda e deformação plástica). Exemplo: Extensômetro						
		Sensores aplicados a veículos guiados automaticamente para detecção e manuseio de posição.						
		Sensores de imagem - OCR						
		Etiquetas RFID						
	Blockchain - "Contratos inteligentes" o compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (terminais, agência marítima, operador portuário, rebocadores, etc) são armazenadas em um blockchain.	Plataforma de compartilhamento de informações						
		Incorporação adicional de aplicações IoT - Informações sobre as atividades de carregamento no porto podem ser carregadas e armazenadas no blockchain em tempo real						
	Integração	Sistema de tráfego de embarcações (aquaviário)						
		Sistema de informação mar/rio (aquaviário)						
		Sistema automatizado de pátio/gate (terminal)						
		Sistema de agendamento (terminal)						
		sistema de controle de tráfego (terrestre)						
	Logística	IoT	Subsistema baseado em IoT que fornece a localização em tempo real dos contêineres, permitindo assim a comunicação bidirecional com os mesmos e permitindo o agendamento das operações portuárias					
			Subsistema baseado em IoT que automatiza o acesso dos trens ao terminal, atribuindo-lhes TRILHAS e rotas e agendando suas chegadas e partidas					
RFID para rastreamento de cargas								
GPS para realizar em tempo real a gestão de cargas								
Raio infravermelho para controle no transporte de veículos e controle antifurto								

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Blockchain	Blockchain para informações sobre frete de contêineres integrando e compartilhando informações entre despachantes, agências e seus clientes.					
		Gerenciamento de frotas: Os terminais portuários podem usar os registros de dados imutáveis da blockchain da localização, direção e velocidade das embarcações para preparar um plano de rota livre de colisões. Baseado nos potenciais pontos de colisão identificados usando os dados baseados em blockchain, podem acionar uma notificação para os comandantes de navios reencaminharem seus navios.					
		Compartilhamento de documentos comerciais - Conhecimento de embarque (representa um recibo de confirmação que é dado ao exportador pela transportadora como comprovante de envio)					
	Big data	Modelo de plataforma de compartilhamento de informações de transporte multimodal - transporte combinado ferroviário e aquaviário de contêineres no serviço de definição de janelas de operação					
	Inteligência artificial	A tecnologia é aplicada para construir um modelo para melhorar a satisfação do cliente da cadeia de suprimentos portuária					
	Gêmeos digitais	A abordagem de gêmeo digital desenvolvida para a assistência do operador de despacho de caminhões em áreas portuárias. O gêmeo digital permite uma previsão do desempenho do sistema e avalia diferentes alternativas de política de despacho, assim, o operador pode se comunicar com as partes interessadas afetadas e decidir pela melhor configuração possível, mantendo o número de caminhões esperando no terminal dentro dos limites aceitáveis					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Computação em nuvem	Otimização do caminho de agendamento e a capacidade de controle inteligente do porto através do método de programação de mínimos quadrados usado para projetar o caminho ideal de abastecimento de logística inteligente do porto					
Planejamento e Gestão	IoT	Sensores usados para extrair KPI; aplicação para melhorar os processos de negócios em portos marítimos (monitorar os fluxos de caminhões na estrada, calcular o volume de tráfego portuário e comunicar tais informação aos intervenientes portuários de forma a otimizar os seus fluxos de mercadorias; atraso e espera da função de carregamento/descarregamento)					
	Big data	Modelo de competitividade de portos; combinação de fatores para inspeção dos navios que atracam no porto; usado na análise de operação do rebocador com foco no congestionamento portuário e aumentar a segurança de navegação do porto; planejamento e otimização de logística com base na análise de desempenho de hidrovias					
	Gêmeos digitais	Quantificação da resiliência de portos					
	Simulação	Aplicação na análise de roteamento de contêineres por diferentes cenários de transporte marítimo regular; otimização de trajetos em viagens marítimas integrando o comportamento do movimento do navio, características geográficas e os Regulamentos Internacionais para Evitar colisões no mar; estrutura metodológica desenvolvida para avaliar o impacto do aumento do nível do mar na operabilidade portuária usando modelos digitais					
	Blockchain	Avaliar até que ponto os cenários de blockchain para a indústria naval têm explicação prática da perspectiva dos portos marítimos					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Robótica	Operações conduzidas com a ajuda de robótica aquática com diferentes configurações de equipamentos, que podem ser operados remotamente - Não aplicado					
	Inteligência artificial	Combina inteligência artificial e uma arquitetura baseada em agentes para realizar pesquisa de simulação de fluxo de tráfego portuário					
	Cibersegurança	Análise através do gráfico de ataque; método integrado de avaliação de risco cibernético para um porto de contêineres;					

Fonte: Autor (2023)

4.4 Resultado da validação da ferramenta por especialistas do setor portuário

4.4.1 Tecnologias não contempladas na ferramenta de análise

A tecnologia realidade aumentada não estava contemplada no questionário inicial sendo citada como ferramenta importante para auxiliar na manutenção e treinamentos. Dessa forma, considerando as perspectivas adotadas, essa tecnologia foi acrescentada na perspectiva operação devido a aplicação citada pelo especialista.

Outra tecnologia citada, foi a inteligência artificial com aplicação em gestão de manutenção de equipamentos. Assim, essa tecnologia também foi acrescida na perspectiva de operação.

4.4.2 Outras aplicações não citadas na ferramenta inicial de análise

A seguir seguem detalhadas as aplicações explanadas pelos especialistas, subdividas conforme perspectivas de aplicação.

4.4.2.1 Operação

4.4.2.1.1 IoT

As células de carga foram citadas para detectar de sobrecarga, e o sensor antisnag empregado para não ocorrer o esmagamento do cabo.

4.4.2.1.2 Integração

Em relação as funcionalidades obtidas com o sistema automatizado, foi acrescido o emprego para o gerenciamento de manutenção do terminal.

4.4.2.1.3 Emprego de outras tecnologias

Foram mencionadas para a operação do terminal, o emprego de tecnologias não contempladas na ferramenta de análise inicial, sendo: realidade aumentada e inteligência artificial, ambas aplicadas na manutenção do terminal portuário.

4.4.2.2 Logística

4.4.2.2.1 Big data

Para essa tecnologia, foram apontadas as aplicações em telemetria e GPS em TT (Terminal Tractors).

4.4.2.3 Gestão e planejamento

4.4.2.3.1 Robótica

De forma complementar a descrição contemplada na ferramenta de análise, foi apontada ainda a utilização da robótica na operação de RTGs (guindante portuário montado sobre pneus) remotos.

4.4.3 Ferramenta de análise após adequações sugeridas pelos especialistas

Tendo como base as considerações dos especialistas, o questionário foi adequado sendo estruturado no quadro 11.

Quadro 11 - Questionário com as adequações sugeridas pelos especialistas

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação
Operação	IoT - Sensores e sistemas embarcados que são conectados à Internet.	Sensores associados a guindastes, aplicação para monitoramento da integridade estrutural dos guindastes (detecção de falhas, microfissuras, trincas de solda e deformação plástica).
		Células de carga para detecção de sobrecarga
		Antisnag para evitar esmagamento do cabo
		Sensores aplicados a veículos guiados automaticamente para detecção e manuseio de posição.
		Sensores de imagem - OCR
		Etiquetas RFID

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação
	Blockchain - "Contratos inteligentes" o compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (terminais, agência marítima, operador portuário, rebocadores etc.) são armazenadas em um blockchain.	Plataforma de compartilhamento de informações
		Incorporação adicional de aplicações IoT - Informações sobre as atividades de carregamento no porto podem ser carregadas e armazenadas no blockchain em tempo real
	Integração	Sistema de tráfego de embarcações (aquaviário)
		Sistema de informação mar/rio (aquaviário)
		Sistema automatizado de pátio/gate (terminal)
		Sistema de gerenciamento da manutenção
		Sistema de agendamento (terminal)
Realidade Aumentada	Auxiliar na manutenção do terminal portuário	
Inteligência artificial	Aplicação em gestão de manutenção de equipamentos	
Logística	IoT	Subsistema baseado em IoT que fornece a localização em tempo real dos contêineres, permitindo assim a comunicação bidirecional com os mesmos e permitindo o agendamento das operações portuárias
		Subsistema baseado em IoT que automatiza o acesso dos trens ao terminal, atribuindo-lhes trilhas e rotas e agendando suas chegadas e partidas
		RFID para rastreamento de cargas
		GPS para realizar em tempo real a gestão de cargas
		Raio infravermelho para controle no transporte de veículos e controle antifurto
	Blockchain	Blockchain para informações sobre frete de contêineres integrando e compartilhando informações entre despachantes, agências e seus clientes.
		Gerenciamento de frotas: Os terminais portuários podem usar os registros de dados imutáveis da blockchain da localização, direção e velocidade das embarcações para preparar um plano de rota livre de colisões. Baseado nos potenciais pontos de colisão identificados usando os dados baseados em blockchain, podem acionar uma notificação para os comandantes de navios reencaminharem seus navios.
		Compartilhamento de documentos comerciais - Conhecimento de embarque (representa um recibo de confirmação que é dado ao exportador pela transportadora como comprovante de envio)

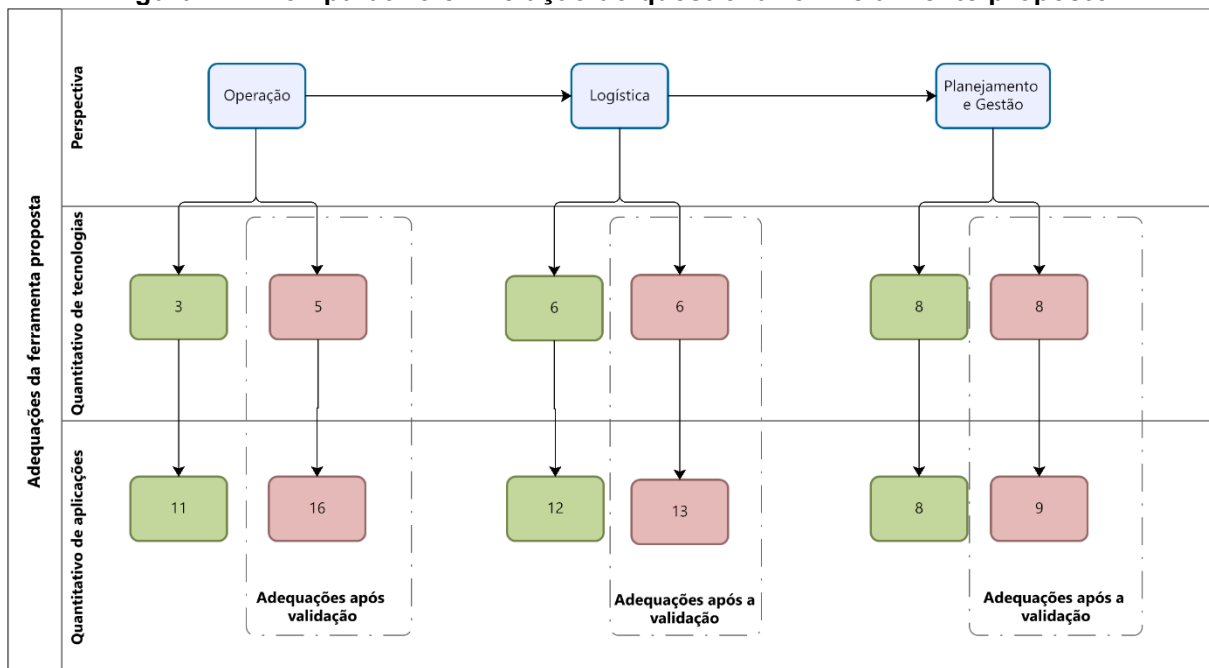
Perspectiva	Tecnologia	Aplicação
	Big data	Modelo de plataforma de compartilhamento de informações de transporte multimodal - transporte combinado ferroviário e aquaviário de contêineres no serviço de definição de janelas de operação;
		Telemetria e GPS em terminal tractors
	Inteligência artificial	A tecnologia é aplicada para construir um modelo para melhorar a satisfação do cliente da cadeia de suprimentos portuária
	Gêmeos digitais	A abordagem de gêmeo digital desenvolvida para a assistência do operador de despacho de caminhões em áreas portuárias. O gêmeo digital permite uma previsão do desempenho do sistema e avalia diferentes alternativas de política de despacho, assim, o operador pode se comunicar com as partes interessadas afetadas e decidir pela melhor configuração possível, mantendo o número de caminhões esperando no terminal dentro dos limites aceitáveis
	Computação em nuvem	Otimização do caminho de agendamento e a capacidade de controle inteligente do porto através do método de programação de mínimos quadrados usado para projetar o caminho ideal de abastecimento de logística inteligente do porto
Planejamento e Gestão	IoT	Sensores usados para extrair KPI; aplicação para melhorar os processos de negócios em portos marítimos (monitorar os fluxos de caminhões na estrada, calcular o volume de tráfego portuário e comunicar tais informação aos intervenientes portuários de forma a otimizar os seus fluxos de mercadorias; atraso e espera da função de carregamento/descarregamento)
	Big data	Modelo de competitividade de portos; combinação de fatores para inspeção dos navios que atracam no porto; usado na análise de operação do rebocador com foco no congestionamento portuário e aumentar a segurança de navegação do porto; planejamento e otimização de logística com base na análise de desempenho de hidrovias
	Gêmeos digitais	Quantificação da resiliência de portos
	Simulação	Aplicação na análise de roteamento de contêineres por diferentes cenários de transporte marítimo regular; otimização de trajetos em viagens marítimas integrando o comportamento do movimento do navio, características geográficas e os Regulamentos Internacionais para Evitar colisões no mar; estrutura metodológica desenvolvida para avaliar o impacto do aumento do nível do mar na operabilidade portuária usando modelos digitais

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação
	Blockchain	Avaliar até que ponto os cenários de blockchain para a indústria naval têm explicação prática da perspectiva dos portos marítimos
	Robótica	Operações conduzidas com a ajuda de robótica aquática com diferentes configurações de equipamentos, que podem ser operados remotamente
		Operação de RTGs remotos
	Inteligência artificial	Combina inteligência artificial e uma arquitetura baseada em agentes para realizar pesquisa de simulação de fluxo de tráfego portuário
	Cibersegurança	Análise através do gráfico de ataque; método integrado de avaliação de risco cibernético para um porto de contêineres;

Fonte: Autor (2023)

Assim, foi elaborado o comparativo com o questionário inicialmente proposto, representado na Figura 14.

Figura 14 - Comparativo em relação ao questionário inicialmente proposto



Fonte: Autor (2023)

O questionário com as adequações realizadas, após as considerações do grupo multidisciplinar de especialistas do setor portuário, segue apresentado no quadro 12, com destaque para as inclusões propostas.

Quadro 12 - Questionário contemplando as adequações

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Operação	IoT - Sensores e sistemas embarcados que são conectados à Internet.	Sensores associados a guindastes, aplicação para monitoramento da integridade estrutural dos guindastes (detecção de falhas, microfissuras, trincas de solda e deformação plástica). Exemplo: Extensômetro					
		Células de carga foram citadas para a detecção de sobrecarga					
		Antisnag para evitar esmagamento do cabo					
		Sensores aplicados a veículos guiados automaticamente para detecção e manuseio de posição.					
		Sensores de imagem - OCR					
	Blockchain - "Contratos inteligentes" o compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (terminais, agência marítima, operador portuário, rebocadores etc.) são armazenadas em um blockchain.	Etiquetas RFID					
		Plataforma de compartilhamento de informações					
	Integração	Incorporação adicional de aplicações IoT - Informações sobre as atividades de carregamento no porto podem ser carregadas e armazenadas no blockchain em tempo real					
		Sistema de tráfego de embarcações (aquaviário)					
		Sistema de informação mar/rio (aquaviário)					
		Sistema automatizado de pátio/gate (terminal)					
		Sistema de gerenciamento da manutenção					
		Sistema de agendamento (terminal) sistema de controle de tráfego (terrestre)					
	Realidade Aumentada	Auxiliar na manutenção do terminal portuário					
		Inteligência artificial	Aplicação em gestão de manutenção de equipamentos				
Logística	IoT	Subsistema baseado em IoT que fornece a localização em tempo real dos contêineres, permitindo assim a comunicação bidirecional com os mesmos e permitindo o agendamento das operações portuárias					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
		Subsistema baseado em IoT que automatiza o acesso dos trens ao terminal, atribuindo-lhes trilhas e rotas e agendando suas chegadas e partidas					
		RFID para rastreamento de cargas					
		GPS para realizar em tempo real a gestão de cargas					
		Raio infravermelho para controle no transporte de veículos e controle antifurto					
	Blockchain	Blockchain para informações sobre frete de contêineres integrando e compartilhando informações entre despachantes, agências e seus clientes.					
		Gerenciamento de frotas: Os terminais portuários podem usar os registros de dados imutáveis da blockchain da localização, direção e velocidade das embarcações para preparar um plano de rota livre de colisões. Baseado nos potenciais pontos de colisão identificados usando os dados baseados em blockchain, podem acionar uma notificação para os comandantes de navios reencaminharem seus navios.					
		Compartilhamento de documentos comerciais - Conhecimento de embarque (representa um recibo de confirmação que é dado ao exportador pela transportadora como comprovante de envio)					
	Big data	Modelo de plataforma de compartilhamento de informações de transporte multimodal - transporte combinado ferroviário e aquaviário de contêineres no serviço de definição de janelas de operação					
		Telemetria e GPS em terminal tractors					
	Inteligência artificial	A tecnologia é aplicada para construir um modelo para melhorar a satisfação do cliente da cadeia de suprimentos portuária					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Gêmeos digitais	A abordagem de gêmeo digital desenvolvida para a assistência do operador de despacho de caminhões em áreas portuárias. O gêmeo digital permite uma previsão do desempenho do sistema e avalia diferentes alternativas de política de despacho, assim, o operador pode se comunicar com as partes interessadas afetadas e decidir pela melhor configuração possível, mantendo o número de caminhões esperando no terminal dentro dos limites aceitáveis					
	Computação em nuvem	Otimização do caminho de agendamento e a capacidade de controle inteligente do porto através do método de programação de mínimos quadrados usado para projetar o caminho ideal de abastecimento de logística inteligente do porto					
Planejamento e Gestão	IoT	Sensores usados para extrair KPI; aplicação para melhorar os processos de negócios em portos marítimos (monitorar os fluxos de caminhões na estrada, calcular o volume de tráfego portuário e comunicar tais informação aos intervenientes portuários de forma a otimizar os seus fluxos de mercadorias; atraso e espera da função de carregamento/descarregamento)					
	Big data	Modelo de competitividade de portos; combinação de fatores para inspeção dos navios que atracam no porto; usado na análise de operação do rebocador com foco no congestionamento portuário e aumentar a segurança de navegação do porto; planejamento e otimização de logística com base na análise de desempenho de hidrovias					
	Gêmeos digitais	Quantificação da resiliência de portos					

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Simulação	Aplicação na análise de roteamento de contêineres por diferentes cenários de transporte marítimo regular; otimização de trajetos em viagens marítimas integrando o comportamento do movimento do navio, características geográficas e os Regulamentos Internacionais para Evitar colisões no mar; estrutura metodológica desenvolvida para avaliar o impacto do aumento do nível do mar na operabilidade portuária usando modelos digitais					
	Blockchain	Avaliar até que ponto os cenários de blockchain para a indústria naval têm explicação prática da perspectiva dos portos marítimos					
	Robótica	Operações conduzidas com a ajuda de robótica aquática com diferentes configurações de equipamentos, que podem ser operados remotamente - Não aplicado					
		Operação de RTGs remotos					
	Inteligência artificial	Combina inteligência artificial e uma arquitetura baseada em agentes para realizar pesquisa de simulação de fluxo de tráfego portuário					
	Cibersegurança	Análise através do gráfico de ataque; método integrado de avaliação de risco cibernético para um porto de contêineres;					

Fonte: Autor (2023)

4.5 Aplicação da ferramenta de pesquisa

Esta seção tem por objetivo apresentar os resultados da aplicação do questionário, conforme exposto no quadro 13, realizada a partir da ferramenta validada, após as alterações realizadas no questionário inicial.

4.5.1 Diagnóstico Porto Referência

A análise do nível de maturidade será apresentada por perspectivas, abordando ao final do capítulo o diagnóstico consolidado.

4.5.1.1 Perspectiva Operação

Os resultados obtidos seguem detalhados no quadro 13.

Quadro 13 - Aplicação da ferramenta: perspectiva operação

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Operação	IoT- Sensores e sistemas embarcados que são conectados à internet	Sensores associados a guindastes, aplicação para monitoramento da integridade estrutural dos guindastes (detecção de falhas, microfissuras, trincas de solda e deformação plástica). Exemplo: Extensômetro;	x				
		Células de carga (detecção de sobrecarga)			x		
		Antisnag (evitar esmagamento do cabo)			x		
		Sensores aplicados a veículos guiados automaticamente para detecção e manuseio de posição.			x		
		Sensores de imagem - OCR				x	
		Etiquetas RFID	x				
	Blockchain - "Contratos inteligentes" o compartilhamento de informações entre os atores envolvidos (terminais, agência marítima, operador portuário, rebocadores etc.) são armazenadas em um blockchain.	Plataforma de compartilhamento de informações	x				
		Incorporação adicional de aplicações IoT - Informações sobre as atividades de carregamento no porto podem ser carregadas e armazenadas no blockchain em tempo real	x				
	Integração	Sistema de tráfego de embarcações (aquaviário)	x				
		Sistema de informação mar/rio (aquaviário)	x				
		Sistema automatizado de pátio/gate (terminal)					x
		Sistema de gerenciamento da manutenção					x
		Sistema de agendamento (terminal)					x
		sistema de controle de tráfego (terrestre)					x
	Realidade Aumentada	Auxiliar na manutenção do terminal portuário	x				
	Inteligência artificial	Aplicação em gestão de manutenção de equipamentos		x			

Fonte: Autor (2023)

Para essa perspectiva observa-se a aplicação preponderante da tecnologia **integração** com ênfase em sistemas automatizados para gestão de pátio/ gates, manutenção, agendamento e tráfego terrestre, obtendo o maior nível de pontuação (nível 4), estando totalmente implementada essas ferramentas no terminal. Entre os sistemas em uso no terminal portuário foram citados: Navis N4, XPS e Berth Plan.

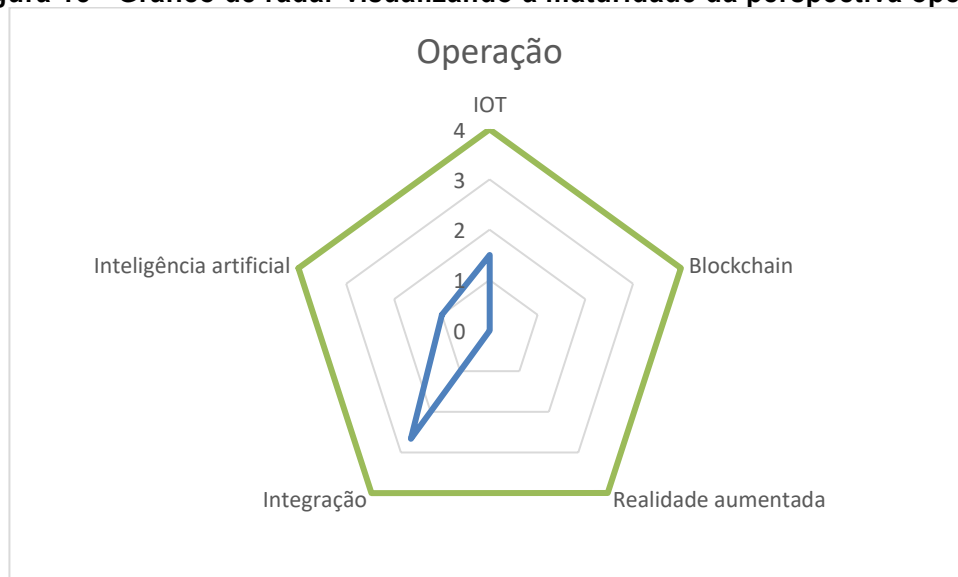
Outra tecnologia que ganha destaque é **IoT** com aplicação através do sensor de imagem OCR sendo largamente utilizado no terminal e com perspectivas de expansão, bem como, com a utilização de sensores para detecção de sobrecarga e para evitar esmagamento do cabo. Os sensores aplicados a veículos guiados automaticamente, são aplicados no terminal através de PDS (Position Dynamics System) para movimentação sem interação do operador.

Em contrapartida, em relação a **Blockchain** não foi pontuado nenhum uso dessa tecnologia no terminal.

Em relação à perspectiva de operação, observa-se uma preponderância do uso das tecnologias voltadas para otimização do processo de manutenção do terminal.

Na Figura 15 é apresentado o resultado do nível de maturidade da perspectiva operação, visualizado através do gráfico de radar.

Figura 15 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva operação



Fonte: Autor (2023)

4.5.1.2 Perspectiva Logística

Os resultados obtidos seguem detalhados no quadro 14.

Quadro 14 - Aplicação da ferramenta: perspectiva logística

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Logística	IoT	Subsistema baseado em IoT que fornece a localização em tempo real dos contêineres, permitindo assim a comunicação bidirecional com os mesmos e permitindo o agendamento das operações portuárias			x		
		Subsistema baseado em IoT que automatiza o acesso dos trens ao terminal, atribuindo-lhes trilhas e rotas e agendando suas chegadas e partidas	x				
		RFID para rastreamento de cargas	x				
		GPS para realizar em tempo real a gestão de cargas			x		
		Raio infravermelho para controle no transporte de veículos e controle antifurto	x				
	Blockchain	Blockchain para informações sobre frete de contêineres integrando e compartilhando informações entre despachantes, agências e seus clientes.	x				
		Gerenciamento de frotas: Os terminais portuários podem usar os registros de dados imutáveis da blockchain da localização, direção e velocidade das embarcações para preparar um plano de rota livre de colisões. Baseado nos potenciais pontos de colisão identificados usando os dados baseados em blockchain, podem acionar uma notificação para os comandantes de navios reencaminharem seus navios.	x				
		Compartilhamento de documentos comerciais - Conhecimento de embarque (representa um recibo de confirmação que é dado ao exportador pela transportadora como comprovante de envio)	x				

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Big data	Modelo de plataforma de compartilhamento de informações de transporte multimodal - transporte combinado ferroviário e aquaviário de contêineres no serviço de definição de janelas de operação			x		
		Telemetria e GPS em terminal tractors			x		
	Inteligência artificial	A tecnologia é aplicada para construir um modelo para melhorar a satisfação do cliente da cadeia de suprimentos portuária		x			
	Gêmeos digitais	A abordagem de gêmeo digital desenvolvida para a assistência do operador de despacho de caminhões em áreas portuárias. O gêmeo digital permite uma previsão do desempenho do sistema e avalia diferentes alternativas de política de despacho, assim, o operador pode se comunicar com as partes interessadas afetadas e decidir pela melhor configuração possível, mantendo o número de caminhões esperando no terminal dentro dos limites aceitáveis	x				
	Computação em nuvem	Otimização do caminho de agendamento e a capacidade de controle inteligente do porto através do método de programação de mínimos quadrados usado para projetar o caminho ideal de abastecimento de logística inteligente do porto			x		

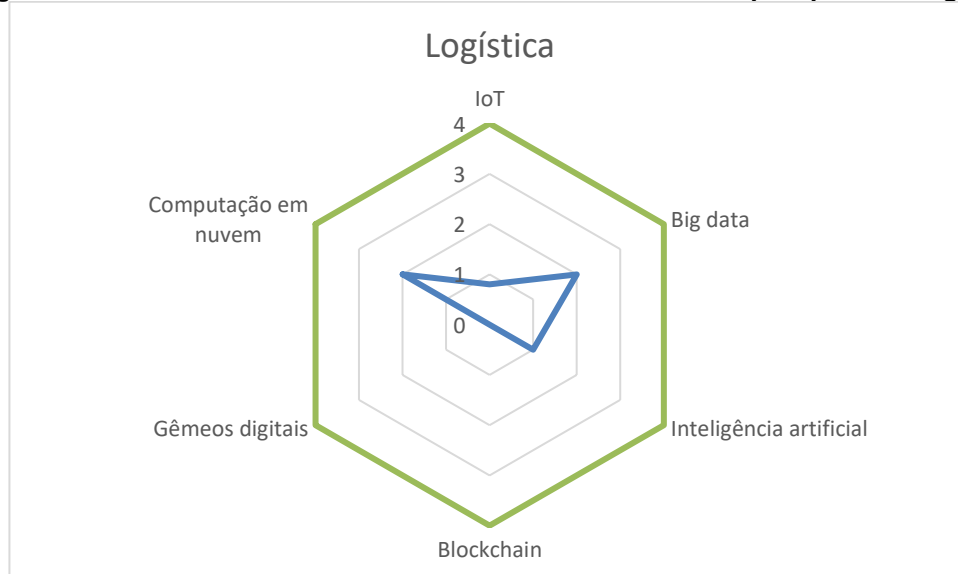
Fonte: Autor (2023)

Para essa perspectiva o maior nível de maturidade atingida foi o 2 – razoavelmente utilizada, englobando nesse nível as tecnologias **IoT** com o emprego no terminal de DGPS para equipamentos e o PDS - Position Dynamics System, sequenciado da tecnologia big data com aplicação em telemetria e GPS e computação em nuvem com armazenamento de dados de informações de equipamentos horímetro e telemetria.

Foi relatado que, embora a tecnologia **IoT** esteja atualmente no nível 2, existe o interesse no terminal em aumentar a maturidade de seu uso, através de projetos pilotos de tracking do caminhão, visando o acompanhamento em tempo real da carga.

Na Figura 16 é apresentado o resultado do nível de maturidade da perspectiva logística, visualizado através do gráfico de radar.

Figura 16 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva logística



Fonte: Autor (2023)

4.5.1.3 Perspectiva Planejamento e Gestão

Os resultados obtidos seguem detalhados no quadro 15.

Quadro 15 - Aplicação da ferramenta: perspectiva planejamento e gestão

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
Planejamento e Gestão	IoT	Sensores usados para extrair KPI; aplicação para melhorar os processos de negócios em portos marítimos (monitorar os fluxos de caminhões na estrada, calcular o volume de tráfego portuário e comunicar tais informação aos intervenientes portuários de forma a otimizar os seus fluxos de mercadorias; atraso e espera da função de carregamento/ descarregamento)			x		
	Big data	Modelo de competitividade de portos; combinação de fatores para inspeção dos navios que atracam no porto; usado na análise de operação do rebocador com foco no congestionamento portuário e aumentar a segurança de navegação do porto; planejamento e otimização de logística com base na análise de desempenho de hidrovias			x		
	Gêmeos digitais	quantificação da resiliência de portos	x				

Perspectiva	Tecnologia	Aplicação	Nível de utilização da tecnologia no Terminal				
			0	1	2	3	4
	Simulação	Aplicação na análise de roteamento de contêineres por diferentes cenários de transporte marítimo regular; otimização de trajetos em viagens marítimas integrando o comportamento do movimento do navio, características geográficas e os Regulamentos Internacionais para Evitar colisões no mar; estrutura metodológica desenvolvida para avaliar o impacto do aumento do nível do mar na operabilidade portuária usando modelos digitais	x				
	Blockchain	Avaliar até que ponto os cenários de blockchain para a indústria naval têm explicação prática da perspectiva dos portos marítimos	x				
	Robótica	Operações conduzidas com a ajuda de robótica aquática com diferentes configurações de equipamentos, que podem ser operados remotamente	x				
		Operação de RTGs remotos	x				
	Inteligência artificial	Combina inteligência artificial e uma arquitetura baseada em agentes para realizar pesquisa de simulação de fluxo de tráfego portuário		x			
	Cibersegurança	Análise através do gráfico de ataque; método integrado de avaliação de risco cibernético para um porto de contêineres;					x

Fonte: Autor (2023)

Para essa perspectiva obteve-se maior destaque a tecnologia **cibersegurança**, estando totalmente implementada no terminal, através de uma grande camada de proteção dos equipamentos estando offline para redes externas, bem como, acesso via VPN. Além de ser pontuado, o interesse do terminal em elevar a maturidade, através de consultorias externas para testes de segurança e desenvolvimento de melhorias.

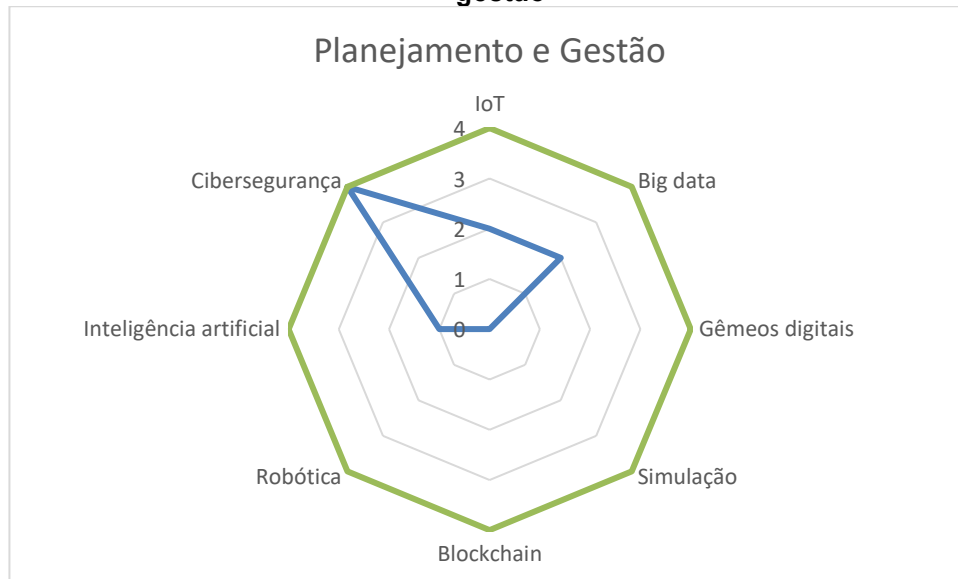
O emprego da tecnologia **IoT** em gestão e planejamento é realizada através de dados de informação de equipamentos horímetro e telemetria, sendo razoavelmente utilizada no terminal.

Em relação ao emprego de **inteligência artificial**, apesar de atualmente ser pontualmente utilizada, foi destacado o interesse no aumento de sua aplicação,

através de projeto para redução de movimentos improdutivos com machine learning, ligados diretamente à gestão de manutenção de equipamentos.

Na figura 17 é apresentado o resultado do nível de maturidade da perspectiva planejamento e gestão, visualizado através do gráfico de radar.

Figura 17 - Gráfico de radar visualizando a maturidade da perspectiva planejamento e gestão



Fonte: Autor (2023)

4.5.2 Nível de maturidade do Porto Referência

A combinação de tecnologias digitais oferece oportunidades para criar mais processos eficientes dentro (operações) e entre portos (logística). Contudo, ao analisar as perspectivas de operação e logística de forma individualizada, a perspectiva operações apresentou uma maturidade maior de digitalização. O resultado obtido pode ser comparado com o estudo realizado pelo Porto de Rotterdam e associação dos Portos Britânicos (Gardeitchik, 2019), em que pontua como difícil e complexa a transição para se tornar um porto digital, precisando acontecer em fases para manter o processo gerenciável. No respectivo estudo, os níveis de digitalização do setor portuário, iniciam com a digitalização individual do porto, que se equipara a perspectiva de operação dessa pesquisa, seguindo para os próximos níveis que envolvem a integração com a cadeia logística.

Embora as tecnologias inovadoras desempenhem um papel fundamental, o foco é sobre o compartilhamento de dados, e o nível em que isso acontece impacta diretamente o nível de digitalização de um porto e nos benefícios associados. Nesse

sentido, para que as operações just-in-time sejam realizadas, é necessária a previsibilidade não somente do porto em si, mas de toda a cadeia logística de suprimentos que o envolve. Assim, por mais que seja evidenciado os investimentos em tecnologia em suas operações, a digitalização portuária é fortemente influenciada pela conectividade dos portos na cadeia logística global.

Em relação às dificuldades em se digitalizar a logística, uma limitação importante está ligada à necessidade de colaboração das partes interessadas, visto que não só o porto precisa ser equipado com tecnologia, mas também devem ser instalados em todos os envolvidos nos meios de transporte e terminais (Muñuzuri *et al.*, 2020; Azab; Karam; Eltawil *et al.*, 2020; Ahmad *et al.*, 2021).

Conforme UNCTAD (2023) as atividades na área de influência logística do porto (hinterlândia) podem ser tão importantes quanto as atividades de operações portuárias, especialmente para o comércio internacional de países em desenvolvimento, exemplificando, o custo do transporte na hinterlândia (logística) é de cerca de 40% do total do custo de transporte de contêineres, reforçando que, há muito por se explorar, principalmente na digitalização da logística.

Ao analisar a predominância no emprego da tecnologia, a IoT ganha destaque na aplicação, contudo com exceção dos sensores OCR que são largamente utilizados no terminal, as demais aplicações obtiveram pontuação máxima equivalente a 2, ou seja, razoavelmente utilizada.

A tecnologia que apresentou nível máximo de maturidade foi a cibersegurança. Em contrapartida a tecnologia blockchain não teve utilização pontuada em nenhuma das perspectivas.

Apesar dos benefícios do blockchain com destaque na rastreabilidade das cargas, a tecnologia enfrenta barreiras em sua implementação, sendo a preocupação com a privacidade como um dos obstáculos mais proeminentes, assim como, a imaturidade da própria implementação do blockchain, produzindo possíveis problemas de desempenho, e a prontidão das empresas de logística, que na maioria das vezes não apresentam recursos ou conhecimento para sua digitalização (Hackius; Reimers; Kersten, 2020).

Observando as possibilidades de emprego das tecnologias no setor portuário, é possível constatar que, apesar de fazer uso da tecnologia em várias aplicações, ainda não utiliza todo o seu potencial de utilização.

Para tanto, de forma a melhorar a pontuação, na perspectiva de operação já ocorre o uso de sensores em diversas aplicações para controle de seus processos, contudo é necessário ampliar a capacidade de aplicação/utilização no terminal, bem como combinar com o potencial de outras tecnologias (blockchain, realidade aumentada e inteligência artificial) para aumento de performance.

Já na perspectiva de logística, a IoT é empregada de forma razoável para fornecimento da localização do contêiner em tempo real (GPS) e as informações coletadas são processadas através de big data para janelas de operação, contudo essa tecnologia não está totalmente implantada, podendo então serem mais bem exploradas, tanto no que tange a coleta dos dados quanto ao seu processamento.

E em relação à utilização das tecnologias para planejamento e gestão do terminal, embora haja o gerenciamento através de KPI's, sua utilização ainda é razoável, assim como o emprego de big data.

Assim, observa-se o potencial do terminal em aumentar o seu nível de digitalização, uma vez que conhece e já utiliza cerca de 47% das aplicações trazidas nessa ferramenta de análise, bem como se destaca nos projetos pilotos para ampliação da sua utilização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ritmo da digitalização nos portos é relativamente lenta, segundo Brunila, Kunnaala Hyrkki e Inkinen (2021), mas isso não só depende dos próprios portos, mas também das necessidades e capacidades dos demais atores logísticos para implantar novos sistemas de informação, otimizando a perspectiva logística na qual o porto está inserido.

A logística marítima depende cada vez mais de portos mais eficientes e processos digitalizados, e embora a pandemia da COVID-19 tenha perturbado profundamente a cadeia de abastecimento global, também levou ao aumento da inovação no setor portuário, com um crescimento importante nos investimentos em soluções digitais, contribuindo na rapidez das transações, custos mais baixos, e redução de atrasos (UNCTAD, 2023).

A competitividade e a tendência de embarcações cada vez maiores, impulsionam a reestruturação dos portos no que tange a busca por produtividade e eficiência. Assim, a digitalização nos portos e seus respectivos processos proporciona a melhora na eficiência, precisão, visualização e segurança das operações portuárias, permitindo a integração do porto com sua área de influência.

A digitalização é, portanto, fundamental para a eficiência portuária, assim investir em novas tecnologias, como a troca interativa de dados, a inteligência artificial e demais tecnologias, permitem maior eficiência e agilidade na cadeia logística global, prevendo e gerindo melhor os fluxos de mercadorias através dos portos, gerenciando riscos e reduzindo os tempos operacionais de espera. Contudo, deve ser dada especial atenção à segurança cibernética e aos planos de continuidade de negócios, a fim de minimizar os riscos relacionados com o aumento da digitalização (UNCTAD, 2023).

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais deste trabalho, sendo dividido em duas seções: Análise dos objetivos e limitações e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Análise dos objetivos

Este trabalho atingiu o objetivo principal proposto: Desenvolver uma ferramenta para mensurar o nível de maturidade de digitalização dos portos. Os

objetivos específicos também foram atingidos e as considerações sobre cada um pode ser vista a seguir.

- a) **Levantar quais, das principais tecnologias da Indústria 4.0, estão sendo aplicadas nos portos.** Os resultados desse levantamento foram apresentados na seção 4.1;
- b) **Levantar as limitações na aplicação no setor portuário das principais tecnologias da Indústria 4.0.** Os resultados desse levantamento foram apresentados na seção 4.1;
- c) **Categorizar as principais tecnologias da Indústria 4.0, conforme perspectivas de aplicação.** Os resultados desse levantamento foram apresentados na seção 4.1;
- d) **Desenvolver uma ferramenta teórica de maturidade para o setor portuário.** Foi apresentado na seção 3.2.2, onde foi proposto o instrumento de pesquisa;
- e) **Validar a ferramenta de análise com especialistas do setor portuário.** A validação foi realizada através de entrevista, sendo descrita na seção 3.2.3;
- f) **Aplicar a ferramenta no setor portuário.** Foi abordado na seção 4, onde foram apresentados os resultados de aplicação da ferramenta.

5.2 Limitações e sugestões para trabalhos futuros

As limitações do trabalho são primeiramente verificadas quanto a validação da ferramenta de pesquisa, uma vez que, apesar de ter sido realizada por um grupo multidisciplinar, os entrevistados eram colaboradores do mesmo porto. Assim, expandindo a entrevista para outros especialistas do setor, pode ser que, surjam outras aplicações de tecnologias não mapeadas.

Outra limitação se relaciona a aplicação da ferramenta de pesquisa a um terminal especializado de contêiner, podendo ser aplicado a terminais com outras tipologias de carga, aumentando o campo amostral de análise.

Para trabalhos futuros, pretende-se ampliar a aplicação em um público mais abrangente, envolvendo portos públicos e privados, englobando todas as tipologias de cargas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. E. M.; GONZAGA, D. R. B.; SANTOS, F.J.; OLIVEIRA, J. F.; OLIVEIRA, K. D. M.; FIGUEIREDO, L. M.; NASCIMENTO, M. P.; OLIVEIRA, P. G.; YOSHINAGA, S. T. S.; OLIVEIRA, T. T.; MATA, V. S.; GONÇALVES, G. A. S. Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se Preparar para o Futuro. **Ciências exatas e tecnologia**, [s.l.], v.12, n.12, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ACHURRA-GONZALEZ, P.E.; NOVATI, M.; FOULSER-PIGGOTT, R.; GRAHAM, D.J.; BOWMAN, G.; BELL, M.G.H.; ANGELOUDIS, P. Modelling the impact of liner shipping network perturbations on container cargo routing: Southeast Asia to Europe application. **Accident Analysis & Prevention**, [s.l.], v. 123, p. 399-410, feb. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.030>. Acesso em: 20 out. 2023.
- AHMAD, R.W.; HASAN, H.; JAYARAMAN, R.; SALAH, K.; OMAR, M. Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management. **Transportation Business & Management**, [s.l.], v. 41, 100620, dec. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100620>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ALCAIDE, J. I. LLAVE, R. G. Critical infrastructures cybersecurity and the maritime sector. **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 45, p. 547–554, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.058>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ALMUTAIRI, A.; COLLIER, Z. A.; HENDRICKSON, D.; PALMA-OLIVEIRA, J. M.; LAMBERT, J. H. Stakeholder Mapping and Disruption Scenarios with Application to Resilience of a Container Port. **Reliability Engineering and System Safety**, [s.l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.10.010>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ANTAQ. **Setor portuário movimenta 1,2 bilhão de toneladas de cargas em 2021**. Notícias. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/noticias/2022/setor-portuario-movimenta-1-2-bilhao-de-toneladas-de-cargas-em-2021>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- ARAUJO, I. C.; CASTRO, M. C. D.; MAIA, P. L. O.; GRANJA, D. M. L.; JOVARINI, N. V. Indústria 4.0 e seus impactos para o mercado de trabalho. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-411>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ASSAD NETO, A.; PEREIRA, B. P.; DROZDA, F. O.; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda. A busca de uma identidade para a indústria 4.0. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 4, n. 4, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **A Profissão da Engenharia de Produção**: Saiba mais sobre a Engenharia de Produção. Abepro, 2023. Disponível em: <https://portal.abepro.org.br/profissao/>. Acesso em: 20 out. 2023.

AZAB, A.; KARAM, A.; ELTAWIL, A. A simulation-based optimization approach for external trucks appointment scheduling in container terminals. **International Journal of Modelling and Simulation**, [s.l.], v. 40, n. 5, p. 321-338, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02286203.2019.1615261>. Acesso em: 20 out. 2023.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70; 1977.

BASSETO, A. L. C. **Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0**. 185f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

BRACKE, V.; SEBRECHTS, M.; MOONS, B.; HOEBEKE, J.; TURCK, F.; VOLCKAERT, B. Design and evaluation of a scalable Internet of Things backend for smart ports. **Software: practice and experience**, [s.l.], v. 51, n. 7, p. 1557-1579, July 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/spe.2973>. Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano Nacional de Logística Portuária**. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/plano-nacional-de-logistica-portuaria-pnlp>. Acesso em: 21 jan. 2021.

BRUNILA, O. P.; KUNNAALA HYRKKI, V.; INKINEN, T. Hindrances in port digitalization? Identifying problems in adoption and implementation. **European Transport Research Review**, [s.l.], v. 13, art. 62, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00523-0>. Acesso em: 20 out. 2023.

CAO, M.; DUAN, X.; ZHAO, X. Construction of Integrated Evaluation System for Green Port Construction Based on BIM Technology. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 93, n. esp 1, p. 1073-1079, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI93-155.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

CHIAPPETTA, A. Cybersecurity benefits and resilience of ports. **European Transport/Trasporti Europei**, [s.l.], n. 75, paper. 3, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339975319_Cybersecurity_benefits_and_resilience_of_ports. Acesso em: 20 out. 2023.

CHOU, C.C.; WEN, C.C.; HUANG, Y.J. Analysis of tugboat operation and towagefees in a Taiwanese port and alternatives for improving tugboat operation by the Delphi method. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers PartM: Journal of Engineering for the Maritime Environment**, [s.l.], v. 235, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1475090220927246>. Acesso em: 20 out. 2023.

CNI. **As Barreiras da burocracia o setor portuário**. Brasília: CNI, 2016a. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/9/barreiras-da-burocracia-setor-portuario/>. Acesso em: 8 nov. 2020.

CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016b. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Acesso em 8 nov. 2020.

CNI. Indústria 4.0 cinco anos depois. **Sondagem especial**, Brasília, ano 21, n. 83, abr. 2022. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/7d/d9/7dd92b31-8860-4ca7-b921-b28fec0a68bc/sondespecial_industria40_cincoanosdepois_abril2022.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

DELEA, C.; COCCOLO, E.; COVARRUBIAS, S. F.; CAMPAGNARO, F.; FAVARO, F.; FRANCESCON, R.; SCHNEIDER, V.; OEFFNER, J.; ZORZI, M. Communication Infrastructure and Cloud Computing in Robotic Vessel as-a-Service Application. **Global Oceans 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast**, Biloxi, MS, US, p. 1-7, oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389285>. Acesso em: 20 out. 2023.

DING, L. Multimodal transport information sharing platform with mixed time window constraints based on big data. **Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications**, [s.l.], v. 9, art. 11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13677-020-0153-8>. Acesso em: 20 out. 2023.

EL IMRANI, O.; BABOUNIA, A. Tangier med port: what role for the moroccan economy and the international trade? **International Journal of Research in Management, Economics and Commerce**, [s.l.], v. 6, n. 7, p. 73-81, july 2016. Disponível em: https://www.indusedu.org/pdfs/IJRMEC/IJRMEC_896_93388.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

FAHIM, P. B.M.; NA, R.; REZAEI, J.; PANG, Y.; MONTREUIL, B.; TAVASSZY, L. An information architecture to enable track-and-trace capability in Physical Internet ports. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 129, 103443, aug. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103443>. Acesso em: 20 out. 2023.

FANG, W. An Exploratory Study on the Logistics Supply Chain of Maritime Port. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 107, esp.1, p. 5-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/JCR-SI107-002.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

FEDI, L.; LAVISSIERE, A.; RUSSELL, D.; SWANSON, D. The facilitating role of IT systems for legal compliance: the case of port community systems and container Verified Gross Mass (VGM). **Supply Chain Forum: An International Journal**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 29-42, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/16258312.2019.1574431>. Acesso em: 20 out. 2023.

FERNÁNDEZ, P.; SANTANA, J. M.; ORTEGA, S.; TRUJILLO, A.; SUÁREZ, J. P.; DOMÍNGUEZ, C.; SANTANA, J.; SÁNCHEZ, A. SmartPort: A Platform for Sensor Data Monitoring in a Seaport Based on FIWARE. **Sensors**, [s.l.], v. 16, n. 417, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s16030417>. Acesso em: 20 out. 2023.

FERRETTI, M.; SCHIAVONE, F. Internet of Things and business processes redesign in seaports: The case of Hamburg. **Business Process Management Journal**, [s.l.], v. 22, n. 2, 2016. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BPMJ-05-2015-0079/full/html>. Acesso em: 20 out. 2023.

FRAZZON, E. M.; CONSTANTE, J. M.; TRISKA, Y.; ALBUQUERQUE, J. V. S.; MARTINEZ-MOYA, J.; SILVA, L. S.; VALENTE, A. M. Smart port-hinterland integration: conceptual proposal and simulation-based analysis in Brazilian ports. **International Journal of Integrated Supply Management**, [s.l.], v. 12, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJISM.2019.103197>. Acesso em: 20 out. 2023.

GARDEITCHIK, J. Move forward: step by step towards a digital port. Rotterdam: Port of Rotterdam, 2019. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/to-do-port/futureland/the-digital-port>. Acesso em: 20 out. 2023.

GONZÁLEZ, A. R.; GONZÁLEZ-CANCELAS, N.; SERRANO, B. M.; ORIVE, A. C. Preparation of a Smart Port Indicator and Calculation of a Ranking for the Spanish Port System. **Logistics**, [s.l.], v. 4, n. 9; 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/logistics4020009>. Acesso em: 20 out. 2023.

GONZALEZ, O. A.; KOIVISTO, H.; MUSTONEN, J. M.; KEINÄNEN-TOIVOLA, M. M. Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region. **Sustainability**, [s.l.], v. 13, n. 1173, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13031173>. Acesso em: 20 out. 2023.

GORGES, S. C. **Smart Ports**: Caracterização e investigação da implementação de práticas inteligentes em portos e terminais brasileiros. 167f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.

GRACIA, V.; SIERRA, J. P.; GÓMEZ, M.; PEDROL, M.; SAMPÉ, S.; GARCÍA-LEÓN, M.; GIRONELLA, X. Assessing the impact of sea level rise on port operability using LiDAR-derived digital elevation models. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 232, 111318, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111318>. Acesso em: 20 out. 2023.

GUNES, B.; KAYISOGLU, G.; BOLAT, P. Cyber security risk assessment for seaports: A case study of a container port. **Computers & Security**, [s.l.], v. 103, apr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102196>. Acesso em: 20 out. 2023.

GURZHIY, A.; KALYAZINA, S.; MAYDANOVA, S.; MARCHENKO, R. Port and City Integration: Transportation Aspect. **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 54, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.144>. Acesso em: 20 out. 2023.

HACKIUS, N.; REIMERS, S.; KERSTEN, W. The Privacy Barrier for Blockchain in Logistics: First Lessons from the Port of Hamburg. *In*: BIERWIRTH, C.; KIRSCHSTEIN, T.; SACKMANN, D. (Eds.). **Logistics Management Strategies and Instruments for digitalizing and decarbonizing supply Chains**: Proceedings of the German Academic Association for Business Research, Halle, 2019. Springer: Cham, Switzerland, 2020. p. 45-61. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29821-0>. Acesso em: 20 out. 2023.

HAN, H. Port Area Distribution and Marine Economic Prediction Based on Kronecker Direct-Product of the Meet-Matrix. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 103, n. esp. 1, p. 780-783, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI103-161.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

HEIKKILÄ, M.; SAARNI, J.; SAURAMA, A. Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports. **Journal of Marine Science nad engeneering**, [s.l.], v. 10, n. 2, 1925, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse10121925>. Acesso em: 20 out. 2023.

HEILIG, L.; LALLA-RUIZ, E.; VOß, S. Digital transformation in maritime ports: analysis and a game theoretic framework. **Netnomics: Economic Research and Electronic Networking**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 227-254, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11066-017-9122-x>. Acesso em: 20 out. 2023.

HEILIG, L.; VOß, S. Information systems in seaports: a categorization and overview. **Information Technology and Management**, [s.l.], n. 18, p. 179–201, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10799-016-0269-1>. Acesso em: 20 out. 2023.

HIEKATA, K.; WANAKA, S. MITSUYUKI, T.; UENO, R.; WADA, R.; MOSER, B. Systems analysis for deployment of internet of things (IoT) in the maritime industry. **Journal of Marine Science and Technology**, [s.l.], v. 26, p. 459-469, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00773-020-00750-5>. Acesso em: 20 out. 2023.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 89, p. 23-34, aug. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>. Acesso em: 20 out. 2023.

HOFMANN, W.; BRANDING, F. Implementation of an IoT- and Cloud-based Digital Twin for Real-Time Decision Support in Port Operations. **IFAC PapersOnLine**, [s.l.], v. 52, n.13, p. 2104-2109, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.516>. Acesso em: 20 out. 2023.

- HU, Z.-H. Data-Driven Analytics for China's Overseas Construction Projects in the Contexts of the Maritime Silk Road and Global Maritime Network. **Complexity**, [s.l.], v. 2020, 8129172, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/8129172>. Acesso em: 20 out. 2023.
- HU, Z.-H. Vietnam's Connectivity and Embeddedness in the Maritime Silk Road and Global Maritime Network. **IEEE Access**, [s.l.], v. 7, p. 33544-33555, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2923528>. Acesso em: 20 out. 2023.
- HU, Z.-H.; LIUA, C.-J.; CHENA, W.; WANGB, Y.-G.; WEI, C. Maritime convection and fluctuation between Vietnam and China: A data-driven study. **Research in Transportation Business & Management**, [s.l.], v. 34, 100414, mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100414>. Acesso em: 20 out. 2023.
- IRANNEZHAD, E. Is blockchain a solution for logistics and freight transportation problems? **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 48, p. 290-306, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.023>. Acesso em: 20 out. 2023.
- JIANG, L.; HUANG, G.; HUANG, C.; WANG, W. Data Mining and Optimization of a Port Vessel Behavior Behavioral Model Under the Internet of Things. **IEEE Access**, [s.l.], v. 7, p. 139970-139983, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2943654>. Acesso em: 20 out. 2023.
- KAPKAEVA, N.; GURZHIY, A.; MAYDANOVA, S.; LEVINA, A. Digital Platform for Maritime Port Ecosystem: Port of Hamburg Case. **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 54, p. 909-917, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.146>. Acesso em: 20 out. 2023.
- KHAN, A. Key Characteristics of a Container Orchestration Platform to Enable a Modern Application. **IEEE Cloud Computing**, [s.l.], v. 4, n. 5, p. 42-48, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250933>. Acesso em: 20 out. 2023.
- KLINK, S.; SENDER, J.; FLÜGGE, W. Simulation-based logistics planning for the optimization of ship occupancies. **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 99, p. 45-49, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.008>. Acesso em: 20 out. 2023.
- KUSUMA, L. T. W. N.; TSENG, F.-S. IOT Framework to Support Maritime Highway Program: A Case Study in Indonesia. **Journal of Cases on Information Technology**, [s.l.], v. 22, n. 3, july-sep., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/JCIT.2020070103>. Acesso em: 20 out. 2023.
- LACALLE, I.; BELSA, A.; VAÑO, R.; PALAU, C. E. Framework and Methodology for Establishing Port-City Policies Based on Real-Time Composite Indicators and IoT: A Practical Use-Case. **Sensors**, [s.l.], v. 20, n. 4131, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20154131>. Acesso em: 20 out. 2023.

LEE, M.-C.; CHANG, T.; CHIEN, W.-T. C. An approach for developing concept of innovation readiness levels. **International Journal of Managing Information Technology**, [s.l.], v. 3, n.2, may 2011. Disponível em: <https://airccse.org/journal/ijmit/papers/del>. Acesso em: 20 out. 2023.

LI, S.; SUN, Q.; WU, W. Benefit Distribution Method of Coastal Port Intelligent Logistics Supply Chain under Cloud Computing. **Journal of Coastal Research**, Florida, v. 93, n. esp. 1, p. 1041-1046, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI93-150.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

LOU, J. Analysis of Network Security of Port of Port Issues in the Era of Big Data. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 110, n. esp. 1, p. 223-226, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/JCR-SI110-053.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

LUCATO, W. C.; PACCHINI, A. P. T.; FACCHINI, F.; MUMMOLO, G. Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies. **IFAC**, [s.l.], v. 52, n. 12, p. 1808-1813, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.464>. Acesso em: 20 out. 2023.

MAO, Y.; GAN, S. Economic Evaluation Model of Freight Distribution Management in Maritime Port. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 93, n. esp.1, p. 1059-1065, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI93-153.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

MINFRA. **Inteligência Logística – Portos**. MINFRA, [s.d.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/inteligencia-logistica-portos>. Acesso em: 20 ago. 2022.

MUÑUZURI, J.; ONIEVA, L.; CORTES, P.; GUADIX, J. Using IoT data and applications to improve port-based intermodal supply chains. **Computers & industrial engineering**, [s.l.], v. 139, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.042>. Acesso em: 20 out. 2023.

OUYANG, F. Construction of Integrated Management Model of Port Logistics Supply Chain Based on Big Data. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 93, n. esp. 1, p. 1053-1058, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI93-152.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

OZTURK, M.; JABER, M.; IMRAN, M. A. Energy-Aware Smart Connectivity for IoT Networks: Enabling Smart Ports. **Wireless Communications and Mobile Computing**, [s.l.], v. 2018, 5379326. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/5379326>. Acesso em: 20 out. 2023.

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, n. 105, p. 2109–2135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>. Acesso em: 20 out. 2023.

PAGANO, P.; ANTONELLI, S.; TARDO, A. C-Ports: A proposal for a comprehensive standardization and implementation plan of digital services offered by the “Port of the Future”. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 134, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103556>. Acesso em: 20 out. 2023.

PASSOS, L. H. S. A indústria 4.0: fundamentos e principais impactos na economia brasileira. **Administração e Negócios da Amazônia**, [s.l.], v. 12, n. 2, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v12n2p53-63>. Acesso em: 20 out. 2023.

PENG, C. The Analysis of Port Economy Driving the Development of Regional Economy Based on Regional Big Data Analysis. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 108, n. esp.1, p. 226-229, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/JCR-S1108-044.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

PENG, P.; YANG, Y.; LU, F.; CHENG, S.; MOU, N.; YANG, R. Modelling the competitiveness of the ports along the Maritime Silk Road with big data. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s.l.], v. 118, p. 852-867, dec. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.041>. Acesso em: 20 out. 2023.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. O. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, [s.l.], v. 16, n. 1, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i1.4938>. Acesso em: 20 out. 2023.

PHILIPP, R. Blockchain for LBG Maritime Energy Contracting and Value Chain Management: A Green Shipping Business Model for Seaports. **Environmental and Climate Technologies**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 329-349, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2478/rtuct-2020-0107>. Acesso em: 20 out. 2023.

PHILIPP, R.; PRAUSE, G.; GERLITZ, L. Blockchain and smart contracts for entrepreneurial collaboration in maritime supply chains. **Transport and Telecommunication**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 365-378, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0030>. Acesso em: 20 out. 2023.

PIO, M. A. M.; GASPAROTTO, A. M. S. Um estudo sobre as indústrias 4.0. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 16 n. 1, p. 545–556, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/541>. Acesso em: 20 out. 2023.

POLATIDIS, N.; PAVLIDIS, M.; MOURATIDIS, H. Cyber-attack path discovery in a dynamic supply chain maritime risk management system. **Computer Standards & Interfaces**, [s.l.], v. 56, p. 74-82, feb. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2017.09.006>. Acesso em: 20 out. 2023.

REN, H. Design of Port Enterprise Logistics Vehicle Location Tracking System Based on Big Data. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 103, n. esp. 1, p. 873-876, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI103-181.1>. Acesso em: 20 out. 2023.

- ROCHA, J. T.; OLIVEIRA, L. A. T.; SOUZA, F. L.; RAMOS R. B.; NAZARÉ, T. B. Os desafios da indústria 4.0 no Brasil. **Mythos**, [s.l.], v. 10, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.36674/mythos.v10i2.245>. Acesso em: 20 out. 2023.
- RODRIGUES, K. R.; FERREIRA, C. G.; MURTA, A. L. S.; MURTA, M. P. A. Sistema portuário brasileiro e o uso da tecnologia para umagestão eficiente. **Holos**, [s.l.], ano 33, v. 7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6080>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SAKURA, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a industria 4.0. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 15, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T.D.F.M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Produção e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 52, p. 161-166, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
- SENARAK, C. Port cybersecurity and threat: A structural model for prevention and policy development. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 20-36, march 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2020.05.001>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SILVA, M. F. O.; SILVA, J. F.; MOTTA L. F. J. A vantagem competitiva das nações e a vantagem competitiva das empresas: o que importa na localização? **Revista de Administração**, Rio de Janeiro, v. 46, n. 3, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122012000300004>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SIMONI, M.; SCHIAVONE, F.; RISITANO, M.; LEONE, D.; CHEN, J. Group-specific business process improvements via a port community system: the case of Rotterdam. **Production Planning & Control**, [s.l.], v. 33, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1824029>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ŠIROKA, M.; PILICIC, S.; MILOSEVIC, T.; LACALLE, I.; TRAVEN, L. A novel approach for assessing the ports' environmental impacts in real time - The IoT based port environmental index. **Ecological indicators**, [s.l.], v. 120, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106949>. Acesso em: 20 out. 2023.

SOUSA JÚNIOR, J. N. C.; NOBRE JÚNIOR, E. F.; PRATA, B. de A.; MELLO, J. C. C. B. S. Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. **Journal of transport literature**, Coroado, v. 7, n. 4, out. 2013. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/jtl/a/xb3FYGbYc34r3JQgmnGhWMx/?lang=pt#>. Acesso em: 20 out. 2023.

SPILIOPOULOS, G.; ZISSIS, D.; CUEVA, J.; KONTOPOULOS, I. Modelling and simulating vessel emissions in real time based on terrestrial AIS data. **Global Oceans 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast**, Biloxi/USA, 2020. p. 1-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389295>. Acesso em: 20 out. 2023.

SUGRUE, D.; ADRIAENS, P. A data fusion approach to predict shipping efficiency for bulk carriers. **Transportation research part E**, [s.l.], v. 149, 102326, may 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102326>. Acesso em: 20 out. 2023.

SUN, X.; TIAN, Z.; MALEKIAN, R.; LI, Z. Estimation of Vessel Emissions Inventory in Qingdao Port Based on Big data Analysis. **Symmetry**, [s.l.], v. 10, n. 10, p. 452, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/sym10100452>. Acesso em: 20 out. 2023.

TAN, A.W.K.; ZHAO, Y.; HALLIDAY, T. A blockchain model for less container load operations in China. **International Journal of Information Systems and Supply Chain Management**, [s.l.], v. 11, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/IJISSCM.2018040103>. Acesso em: 20 out. 2023.

TARTAROTTI, L.; SIRTORI, G.; LARENTIS, F. Indústria 4.0: Mudanças e Perspectiva. Mostra de Iniciação Científica, Pós-graduação, Pesquisa e Extensão. 18. 2018. **[Anais...]** Caxias do Sul: UCS, 2018. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostraucsppga/xviiimostrappga/index>. Acesso em: 20 out. 2023.

TRISKA, Y.; FRAZZON, E. M.; SILVA, V. M. D.; HEILIG, L. Smart port terminals: conceptual framework, maturity modeling and research agenda. **Maritime Policy & Management**, [s.l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2116752>. Acesso em: 20 nov. 2023.

TROPIA, C. E. Z.; SILVA, P. P.; DIAS, A. V. C. Indústria 4.0: uma caracterização do sistema de produção. Congresso latino iberoamericano de gestão tecnológica. 17. 2017. **[Anais...]**. México, 2017.

TSIULIN, S.; REINAU, K. H. The Role of Port Authority in New Blockchain Scenarios for Maritime Port Management: The Case of Denmark. **Transportation Research Procedia**, [s.l.], v. 52, p. 388–395, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.045>. Acesso em: 20 out. 2023.

TSIULIN, S.; REINAU, K.H.; HILMOLA, O.P.; GORYAEV, N.; KARAM, A. Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks. **Review of International Business and Strategy**, [s.l.], v. 30, n. 2, 2020. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RIBS-04-2019-0051/full/html>.

Acesso em: 20 out. 2023.

TSOU, M. C. Big data analysis of port state control ship detention database.

Journal of Marine Engineering and Technology, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 113-121,

2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1505029>. Acesso em:

20 out. 2023.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**: Estratégias, Métodos e Técnicas para Condução de Pesquisas Quantitativa e Qualitativas. Itajubá: Editora UNIFEI, 2012.

UDERMAN, S.; ROCHA, C. H.; CAVALCANTE, L. R. Modernização do sistema portuário no Brasil: uma proposta metodológica. **Journal of Transport Literature**, Manaus, v. 6, n. 1, p. 221-240, mar. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/jtl/a/zjjDGbvGLDsXFKhg748p33D/>. Acesso em: 20 out. 2023.

UNCTAD. Digitalization in maritime transport: ensuring opportunities for development. **Policy Brief**, [s.l.], n. 75, jun. 2019. Disponível em:

https://unctad.org/system/files/official-document/presspb2019d4_en.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2018**: New York: United Nations publication, 2018. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018_en.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2022**: Navigating stormy Waters. New York: United Nations publication, 2022. Disponível em:

https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

UNCTAD. **Review of maritime transport 2023**. New York: United Nations Publications, 2023. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

UNCTAD. **Review of maritime transport**. New York: United Nations Publications, 2021.

VIEIRA, G.B.B; GONÇALVES, R.B; MILAN, G. S; ROSA, A. Q. Avaliação da eficiência portuária utilizando a análise envoltória de dados: um estudo dos terminais de contêineres dos portos da região sul do Brasil. **Gestão Industrial**, Curitiba, v. 10, n. 4, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3895/S1808-04482014000400005>.

Acesso em: 20 out. 2023.

- WANG, S.; ZHEN, L.; XIAO, L.; ATTARD, M. Data-Driven Intelligent Port Management Based on Blockchain. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 38, n. 3, 2040017, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S0217595920400175>. Acesso em: 20 out. 2023.
- WEI, M. Empirical Study on the Benefit Distribution Model of Port Supply Chain under Cloud Environment. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 94, n. esp. 1, p. 793-797, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI94-157.1>. Acesso em: 20 out. 2023.
- XIAO, Y.; WANG, G.; LIN, K.C.; QI, G.; LI, K.X. The effectiveness of the New Inspection Regime for Port State Control: Application of the Tokyo MoU. **Marine Policy**, [s.l.], v. 115, 103857, may 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103857>. Acesso em: 20 out. 2023.
- XISONG, D.; GANG, X.; YUANTAO, L.; XIUJIANG, G.; YISHENG, L. Intelligent ports based on Internet of Things. *In: International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. 2013. **[Proceedings...]** Dongguan, China, 2013. p. 292-296. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SOLI.2013.6611428>. Acesso em: 20 out. 2023.
- YANG, D.; WU, L.; WANG, S.; JIA, H.; LI, K. X. How big data enriches maritime research – a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications **Transport Reviews**, [s.l.], v. 36, n. 6, p. 755-773, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1649315>. Acesso em: 20 out. 2023.
- YANG, J. Construction and Optimization of Port Logistics Service Supply Chain Based on Cloud Computing. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], v. 98, n. esp.1, p. 80-83, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI98-020.1>. Acesso em: 20 out. 2023.
- YANG, Y.; ZHONG, M.; YAO, H.; YU, F.; FU, X.; POSTOLACHE, O. Internet of things for smart ports: Technologies and challenges. **IEEE Instrumentation and Measurement Magazine**, [s.l.], v. 21, n. 1, feb. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MIM.2018.8278808>. Acesso em: 20 out. 2023.
- YU, H.; MURRAY, A. T.; FANG, Z.; LIU, J.; PENG, G.; SOLGI, M.; ZHANG, W. Ship Path Optimization That Accounts for Geographical Traffic Characteristics to Increase Maritime Port Safety. **IEEE transactions on intelligent transportation systems**, [s.l.], v. 23, n. 6, p. 5765-5776, June 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3057907>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ZARZUELO, I.de L. Cybersecurity in ports and maritime industry: Reasons for raising awareness on this issue. **Transport Policy**, [s.l.], v. 100, p. 1-4, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.10.001>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZENG, F.; CHAN, H. K.; PAWAR, K. The effects of inter- and intraorganizational factors on the adoption of electronic booking systems in the maritime supply chain. **International Journal of Production Economics**, [s.l.], v. 236, 108119, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108119>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZERBINO, P.; ALOINI, D.; DULMIN, R.; MININNO, V. Towards Analytics-Enabled Efficiency Improvements in Maritime Transportation: A Case Study in a Mediterranean Port. **Sustainability**, [s.l.], v. 11, n. 16, 4473, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/su11164473>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZHANG, Z. A Supply Chain Information Pushing Method for Logistics Park Based on Internet of Things Technology. **Mobile Information Systems**, [s.l.], v. 2021, 5544607, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/5544607>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZHAO, D.; WANG, T.; HAN, H. Approach towards Sustainable and Smart Coal Port Development: The Case of Huanghua Port in China. **Sustainability**, [s.l.], v. 12, n. 9, 3924, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12093924>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZHOU, C.; XU, J.; MILLER-HOOKS, E.; ZHOU, W.; CHEN, C.H.; LEE, L.H.; CHEW, E.P.; LI, H. Analytics with digital-twinning: A decision support system for maintaining a resilient port. **Decision Support Systems**, [s.l.], v. 143, 113496, april 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113496>. Acesso em: 20 out. 2023.