

O Papel das IA nas Operações Portuárias

The Role of AI in Port Operations

Felix Militão Lisounenko

Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista | Fatec Rubens Lara
felix.lisounenko@fatec.sp.gov.br

Gabriel de Oliveira Matos

Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista | Fatec Rubens Lara
gabriel.matos8@fatec.sp.gov.br

Julio da Cruz Santos Estevam

Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista | Fatec Rubens Lara
julio.estevam@fatec.sp.gov.br

Luciana Maria Guimarães

Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista | Fatec Rubens Lara
luciana.guimaraes4@fatec.sp.gov.br

Resumo

Este estudo analisa o impacto da Inteligência Artificial (IA) nas operações portuárias, examinando seus benefícios, desafios e tendências futuras. A transformação digital está remodelando o setor portuário, com a IA otimizando a logística, aumentando a eficiência e reduzindo custos. A pesquisa, baseada em revisão bibliográfica, análise quantitativa e qualitativa, investiga como a IA pode equilibrar inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental. Os resultados destacam os avanços na automação, segurança aprimorada e eficiência energética, mas também apontam para a necessidade de enfrentar desafios como a substituição de empregos e a segurança cibernética.

Abstract

This study analyzes the impact of Artificial Intelligence (AI) in port operations, examining its benefits, challenges, and future trends. Digital transformation is reshaping the port sector, with AI optimizing logistics, increasing efficiency, and reducing costs. The research, based on a literature review, quantitative and qualitative analysis, investigates how AI can balance technological innovation with social and environmental responsibility. The results highlight advances in automation, enhanced safety, and energy efficiency, but also point to the need to address challenges such as job displacement and cybersecurity.

Palavras-chave

Inteligência Artificial
Automação Portuária
Logística
Eficiência
Sustentabilidade

Keywords

Artificial Intelligence
Port Automation
Logistics
Efficiency
Sustainability

1. Introdução

Nas últimas décadas, a transformação digital vem remodelando diversos setores produtivos, e o segmento portuário não é exceção. Com o crescimento exponencial do comércio global e a necessidade de operações mais rápidas, seguras e sustentáveis, o uso da Inteligência Artificial (IA) nos portos tornou-se um elemento estratégico essencial. A integração de tecnologias disruptivas, como machine learning, Internet das Coisas (IoT), blockchain, veículos autônomos e *digital twins*, está revolucionando a gestão logística, aumentando a eficiência e reduzindo custos. No entanto, esses avanços também trazem desafios importantes, como a substituição de postos de trabalho tradicionais e a necessidade de investimentos robustos em segurança cibernética e requalificação profissional.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar o impacto da Inteligência Artificial nas operações portuárias, destacando seus benefícios, desafios e tendências futuras. Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória e descritiva baseada em revisão bibliográfica, análise quantitativa de dados operacionais e análise qualitativa de casos de sucesso em portos inteligentes ao redor do mundo. O problema central que se procurou investigar é como a implementação da IA pode transformar a dinâmica operacional dos portos, equilibrando inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental. Inicialmente, o artigo apresenta um panorama sobre as tecnologias de IA aplicadas nos portos, seguido da análise de resultados práticos em eficiência, segurança e sustentabilidade, finalizando com uma discussão crítica sobre os impactos sociais e éticos da automação portuária.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Introdução à IA nas Operações Portuárias

2.1.1 Definição de IA e sua Importância Crescente nas Operações Portuárias

A inteligência artificial (IA) refere-se à capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como aprendizado, raciocínio, percepção e tomada de decisão. Nas operações portuárias, a IA está se tornando cada vez mais essencial para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a eficiência. Com a crescente demanda por operações portuárias mais rápidas e seguras, a IA oferece soluções inovadoras que transformam a gestão e a logística dos portos (MPA, 2025).

2.1.2 Visão Geral das Tecnologias de IA Aplicadas nos Portos

Diversas tecnologias de IA estão sendo aplicadas nos portos para melhorar a eficiência e a segurança das operações. Entre elas, destacam-se os sistemas de manutenção preditiva, que utilizam algoritmos de machine learning para prever falhas em equipamentos antes que ocorram, e os sistemas de otimização de rotas, que

analisam dados em tempo real para determinar as rotas mais eficientes para navios. Além disso, a IA está sendo usada para automatizar processos de documentação e liberação de cargas, reduzindo significativamente o tempo de espera e os custos operacionais (MPA, 2024).

2.2 Otimização da Logística Portuária

A Inteligência Artificial (IA) está revolucionando a logística portuária ao melhorar significativamente o fluxo de mercadorias e reduzir congestionamentos. Utilizando algoritmos avançados, a IA pode analisar dados em tempo real, como condições de tráfego, clima e disponibilidade de recursos, para otimizar a movimentação de cargas. Isso resulta em operações mais eficientes e econômicas, reduzindo o tempo de espera e os custos operacionais. Segundo um estudo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a aplicação de IA na logística portuária tem mostrado resultados promissores na redução de congestionamentos e melhoria do fluxo de mercadorias (Guaranys, 2021).

Algoritmos de otimização de rotas e alocação de recursos são fundamentais para a eficiência logística. Alguns dos principais algoritmos utilizados incluem o Algoritmo do Caixeiro Viajante (TSP), que resolve o problema de encontrar a rota mais curta que permite visitar um conjunto de pontos e retornar ao ponto de partida. É amplamente utilizado na otimização de rotas de transporte para minimizar a distância percorrida e o tempo de viagem. Estudos realizados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais destacam a eficácia do TSP na logística portuária (Vieira, 2018).

Outro algoritmo importante é o Problema de Roteamento de Veículos (VRP), uma generalização do TSP que considera múltiplos veículos e restrições adicionais, como capacidade de carga e janelas de tempo. Este algoritmo ajuda a determinar a melhor rota para cada veículo, otimizando a alocação de recursos e reduzindo custos operacionais. Pesquisas da Universidade de São Paulo (USP) demonstram a aplicação do VRP em operações portuárias, resultando em maior eficiência (Martins et al., 2021).

Algoritmos Genéticos, inspirados na evolução natural, são usados para encontrar soluções aproximadas para problemas complexos de otimização. Eles são particularmente eficazes na otimização de rotas e alocação de recursos em ambientes dinâmicos e incertos. A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) tem explorado o uso de algoritmos genéticos na logística portuária, mostrando resultados positivos (Petean et al., 2021).

O Algoritmo *Branch-and-Bound* é utilizado para resolver problemas de otimização combinatória, como o TSP e o VRP, de forma exata. Ele explora todas as possíveis soluções de forma sistemática, garantindo a obtenção da solução ótima. Estudos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) destacam a aplicação do *Branch-and-Bound* na otimização de rotas portuárias (Vieira, 2018).

Esses algoritmos são aplicados em sistemas de gestão portuária para otimizar a movimentação de cargas, reduzir congestionamentos e melhorar a eficiência das operações. A combinação de IA e algoritmos de otimização permite que os portos operem de maneira mais inteligente e eficaz, atendendo às demandas crescentes do comércio global.

2.3 Manutenção Preditiva: Utilização da I.A no porto de Roterdã

O Porto de Roterdã, reconhecido como um dos mais tecnologicamente avançados do mundo, iniciou em 2019 a implementação em larga escala de Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) para revolucionar seu sistema de manutenção preditiva. Esta adoção massiva de tecnologia de ponta teve como objetivos principais: a prevenção antecipada de falhas em equipamentos críticos, a redução significativa de custos operacionais e o aumento da eficiência produtiva em toda a cadeia logística portuária (PRA, 2023).

Esta abordagem inovadora transformou radicalmente a gestão de ativos portuários, introduzindo um paradigma de manutenção proativa baseada em dados. Através da instalação de uma rede abrangente de sensores IoT em guindastes, veículos automatizados (AGVs) e sistemas de transporte, combinada com algoritmos avançados de machine learning, o porto passou a prever com até 92% de precisão (dados de 2023) potenciais falhas em seus equipamentos (PRA, 2023).

2.4 Segurança Aprimorada

2.4.1 Monitoramento em Tempo Real e Detecção de Ameaças com IA

O monitoramento em tempo real é uma das aplicações mais promissoras da IA na segurança portuária. Com o uso de câmeras inteligentes, sensores IoT (Internet das Coisas) e sistemas de análise de dados, a IA pode processar informações em tempo real para identificar comportamentos anômalos ou potenciais ameaças. Por exemplo, algoritmos de visão computacional podem detectar movimentações suspeitas em áreas restritas, veículos parados em locais proibidos ou até mesmo indivíduos carregando objetos incomuns (Bruno, 2022).

De acordo com Zhang et al. (2021), um estudo realizado mostrou que sistemas de IA baseados em redes neurais convolucionais (CNNs) alcançaram uma precisão de 95% na detecção de atividades suspeitas em portos.

Esses sistemas são capazes de analisar milhares de horas de vídeo em poucos minutos, algo que seria impossível para equipes humanas. Além disso, a IA pode integrar dados de múltiplas fontes, como scanners de contêineres, drones de vigilância e sistemas de identificação biométrica, criando um panorama completo da segurança portuária. Outro exemplo é o uso de IA para monitorar o tráfego marítimo. Sistemas como o AIS (*Automatic Identification System*) podem ser aprimorados com algoritmos de machine learning para prever colisões ou identificar embarcações que desviam de rotas predefinidas, possivelmente indicando atividades ilegais.

Segundo Wang et al. (2020), a integração de IA ao AIS reduziu em 40% os incidentes de colisão em portos chineses.

2.4.2 Impacto da IA na Prevenção de Incidentes

A IA não se limita à detecção de ameaças; ela também desempenha um papel crucial na prevenção de incidentes. Ao analisar dados históricos e padrões de

comportamento, a IA pode prever potenciais riscos e sugerir medidas preventivas. Por exemplo, algoritmos de análise preditiva podem identificar períodos de alta vulnerabilidade, como durante a movimentação de cargas perigosas ou em dias de grande movimentação de passageiros (Zhang, 2023.)

Um caso emblemático é o uso de IA no Porto de Roterdã, na Holanda. Segundo Van der Meer et al. (2022), o porto implementou um sistema de IA que utiliza dados meteorológicos, de tráfego marítimo e de operações portuárias para prever atrasos e evitar congestionamentos. Isso não apenas melhorou a eficiência operacional, mas também reduziu os riscos de acidentes em 20%.

Além disso, a IA pode ser usada para simular cenários de crise, como vazamentos de produtos químicos ou ataques cibernéticos. Essas simulações ajudam as equipes de segurança a se prepararem para situações de emergência, melhorando a coordenação e a resposta.

De acordo com Kumar et al. (2023), os portos que utilizam simulações baseadas em IA tiveram uma redução de 35% no tempo de resposta a emergências.

Chen et al. (2022) sugere que a combinação de IA com análise humana é essencial para minimizar esse problema, destacando a importância de um modelo híbrido de segurança.

Segundo Garcia e Silva (2023), a implementação de protocolos de cibersegurança avançados é fundamental para proteger os sistemas de IA contra hackers.

A segurança aprimorada nos portos, com o uso de IA, representa um avanço significativo na proteção de infraestruturas críticas e na prevenção de incidentes. A combinação de monitoramento em tempo real, análise preditiva e simulação de cenários de risco oferece uma abordagem proativa e eficiente para a segurança portuária. No entanto, a implementação dessas tecnologias requer investimentos em infraestrutura, treinamento de pessoal e a adoção de práticas robustas de cibersegurança (HPC, 2024).

A IA não deve ser vista como uma solução definitiva, mas como uma ferramenta complementar que amplia as capacidades das equipes de segurança. Com o planejamento adequado, a IA pode transformar a segurança portuária, tornando-a mais adaptável às ameaças modernas e mais eficiente na proteção de vidas e recursos.

2.5 Eficiência Energética nos Portos: O Papel da Inteligência Artificial

Os portos são infraestruturas críticas que consomem grandes quantidades de energia, seja para operações de carga e descarga, iluminação, climatização de armazéns ou movimentação de equipamentos. A busca por eficiência energética tornou-se uma prioridade, não apenas para reduzir custos operacionais, mas também para cumprir metas de sustentabilidade e reduzir a pegada de carbono. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma ferramenta poderosa para otimizar o consumo de energia em tempo real e minimizar desperdícios (HPC, 2024).

2.5.1 Ajuste do Consumo de Energia em Tempo Real com IA

A IA permite o monitoramento e a gestão inteligente do consumo de energia em portos, utilizando sensores IoT (Internet das Coisas) e algoritmos de machine learning

para analisar dados em tempo real. Esses sistemas podem identificar padrões de consumo, prever demandas de energia e ajustar automaticamente o uso de recursos, como iluminação, maquinários e sistemas de climatização (Nugraha, et al., 2024)

Um exemplo notável é o Porto de Hamburgo, na Alemanha, que implementou um sistema de IA para otimizar o consumo de energia em seus terminais. Segundo Müller et al. (2022), o sistema reduziu o consumo de energia em 15% ao ajustar a iluminação e a operação de equipamentos com base em dados em tempo real, como condições climáticas e movimentação de cargas.

Além disso, a IA pode ser usada para prever picos de demanda de energia e redistribuir recursos de forma eficiente. Por exemplo, algoritmos de previsão podem antecipar o aumento do consumo durante operações noturnas ou em períodos de alta movimentação, permitindo que os gestores tomem medidas proativas para evitar sobrecargas no sistema elétrico (Liquiport, 2024).

2.5.2 Redução de Desperdício de Energia e Custos Operacionais

O desperdício de energia é um problema comum em portos, muitas vezes causado por equipamentos obsoletos, falta de manutenção ou operações ineficientes. A IA pode identificar fontes de desperdício e sugerir correções. Por exemplo, sistemas de IA podem detectar equipamentos que consomem energia acima do esperado ou áreas onde a iluminação está sendo usada de forma desnecessária.

No Porto de Los Angeles, nos Estados Unidos, a implementação de um sistema de IA para monitorar o consumo de energia em guindastes e esteiras transportadoras resultou em uma redução de 20% no desperdício de energia. De acordo com Smith et al. (2021), o sistema identificou que muitos equipamentos permaneciam ligados em modo ocioso durante longos períodos, gerando custos desnecessários.

Outro exemplo é o uso de IA para otimizar a operação de navios atracados. Muitos navios utilizam geradores a diesel para manter sistemas elétricos enquanto estão no porto, o que gera altos custos e emissões poluentes. A IA pode coordenar a conexão desses navios à rede elétrica do porto, reduzindo o uso de combustíveis fósseis. Segundo Lee e Kim (2023) mostrou que essa prática pode reduzir as emissões de CO₂ em até 30% e os custos operacionais em 25%.

2.5.3 Integração com Fontes de Energia Renovável

A IA também desempenha um papel crucial na integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, aos sistemas energéticos dos portos. Algoritmos de machine learning podem prever a geração de energia com base em condições climáticas e ajustar o consumo para maximizar o uso de fontes limpas.

No Porto de Roterdã, na Holanda, um sistema de IA foi implementado para gerenciar a energia gerada por painéis solares instalados nos telhados dos armazéns. Segundo Van Dijk et al. (2022), o sistema aumentou a eficiência do uso de energia solar em 18%, reduzindo a dependência de fontes não renováveis.

2.5.4 Desafios e considerações

Apesar dos benefícios, a implementação de sistemas de IA para eficiência energética nos portos enfrenta desafios. Um dos principais é o custo inicial de instalação de sensores e infraestrutura de TI. Além disso, a integração de sistemas de IA com tecnologias legadas pode ser complexa e exigir treinamento de pessoal.

Outro desafio é a proteção de dados. Sistemas de IA dependem de grandes volumes de dados, que podem ser vulneráveis a ataques cibernéticos.

Segundo Garcia e Silva (2023), a adoção de protocolos de cibersegurança avançados é essencial para proteger os sistemas de IA e garantir a confiabilidade das operações.

3. Procedimentos Metodológicos

Para o desenvolvimento deste estudo, foi essencial aprofundar a compreensão sobre o conceito de pesquisa. Pesquisa é entendida como um conjunto de ações sistemáticas, organizadas e fundamentadas em métodos racionais, que têm como finalidade responder a questões previamente estabelecidas sobre um problema específico. Existem dois principais impulsionadores da pesquisa: o interesse intelectual, que busca a ampliação do conhecimento pelo prazer de aprender, e o interesse prático, que visa adquirir informações detalhadas para realizar atividades de forma mais eficiente e econômica. Ambos os fatores se complementam e são fundamentais para o êxito de um trabalho científico. Ao final, a pesquisa resultou na geração de informações relevantes, documentadas durante todo o processo, e que permitiram uma avaliação crítica dos resultados obtidos (Menezes, 2019).

Diversas metodologias foram empregadas neste trabalho, como a revisão bibliográfica, a análise quantitativa e a análise qualitativa. A revisão bibliográfica teve o propósito de reunir fundamentos teóricos que possibilitassem uma abordagem crítica do tema em estudo. A análise quantitativa destacou a interpretação de dados numéricos e gráficos para fundamentar o raciocínio crítico, enquanto a análise qualitativa buscou, através de aspectos não numéricos, proporcionar uma compreensão mais profunda dos fenômenos relacionados à situação-problema (Menezes, 2019).

4. Resultados e Discussão

4.1 Análise de Dados Logísticos: Processamento de Grandes Volumes de Dados para Identificar Padrões e Informações Importantes

A análise de dados logísticos é uma ferramenta essencial para otimizar as operações portuárias. Com o avanço da tecnologia, os portos brasileiros têm adotado sistemas de processamento de grandes volumes de dados (Big Data) para identificar padrões e gerar informações para tomada de decisões estratégicas. Este tópico explora como a análise de dados logísticos é aplicada nas operações portuárias, destacando estudos nacionais e referências de órgãos oficiais, universidades e congressos.

4.1.1 Processamento de Grandes Volumes de Dados

O processamento de grandes volumes de dados envolve a coleta, armazenamento e análise de dados provenientes de diversas fontes, como sensores, sistemas de gestão portuária, e registros de movimentação de cargas. Tecnologias como o MapReduce e *frameworks* como Hadoop e Spark são frequentemente utilizadas para lidar com esses dados de forma eficiente.

Um estudo realizado pela Universidade Federal de Goiás (UFG) destaca o uso do modelo de programação distribuída MapReduce como uma alternativa poderosa para o processamento de grandes quantidades de dados. Este modelo permite a execução de aplicações em paralelo, alocação de dados em bancos de dados distribuídos e comunicação em rede com tolerância a falhas.

4.1.2 Identificação de Padrões e informações importantes

A análise de dados logísticos permite identificar padrões e gerar informações cruciais. Por exemplo, a análise envoltória de dados (DEA) é uma técnica não paramétrica utilizada para avaliar a eficiência dos portos brasileiros. Estudos realizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) aplicaram o DEA para comparar a eficiência dos terminais de contêineres dos portos da região sul do Brasil, considerando variáveis de input relacionadas à infraestrutura e variáveis de output associadas à operação.

4.1.3 Informando Decisões Estratégicas

As informações geradas pela análise de dados logísticos permitem a tomada de decisões estratégicas que podem melhorar a eficiência e reduzir os custos das operações portuárias. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e a Infra S.A. realizam levantamentos periódicos que caracterizam o sistema portuário nacional. Esses dados são utilizados para criar ferramentas, estudos, projetos, planos e políticas voltadas ao desenvolvimento do setor.

Estudos nacionais e referências de órgãos oficiais, universidades e congressos demonstram a importância dessa prática para o desenvolvimento e modernização dos portos brasileiros.

4.1.4 Avanços na Automação Portuária: O Caso do Terminal de Contêineres de *Yangshan* (Fase IV) Comparação Pré e Pós-IA

A automação portuária tem transformado a logística marítima global, com o Terminal de Contêineres de *Yangshan* (Fase IV), em Xangai, destacando-se como um exemplo notável dessa evolução. Inaugurado em dezembro de 2017, este terminal é reconhecido como o maior terminal automatizado de contêineres do mundo.

4.1.5 Implementação Tecnológica

O terminal utiliza tecnologias avançadas, incluindo Veículos Guiados Automaticamente (AGVs) e guindastes autônomos, todos projetados e fabricados na

China. Esses equipamentos são gerenciados por um sistema automatizado desenvolvido localmente, visando aumentar a eficiência operacional e reduzir as emissões de carbono em até 10%.

4.1.6 Impacto na Produtividade

Desde sua operação, o Terminal de *Yangshan* (Fase IV) tem contribuído significativamente para o aumento da capacidade portuária de Xangai. Em 2024, o Porto de Xangai tornou-se o primeiro no mundo a ultrapassar a marca de 50 milhões de TEUs em movimentação anual de contêineres, consolidando sua posição como o porto de contêineres mais movimentado globalmente por 15 anos consecutivos.

Figura 1 - Comparação Pré e Pós-IA (Yangshan)

Métrica	Terminal Tradicional	Terminal Automatizado (IA)	Variação
Contêineres/hora	25–30	40–45	50%
Tempo de espera	24–48 horas	12–18 horas	-30%
Acidentes operacionais	5–7 por ano	0–1 por ano	-90%

Fonte: PortShangai (2019)

A figura 1 apresenta uma tabela de comparação entre o desempenho de terminais portuários tradicionais e o Terminal *Yangshan* IV após a implementação de tecnologias baseadas em inteligência artificial. Os dados mostram um aumento de 50% na produtividade, passando de 25–30 para 40–45 contêineres movimentados por hora. O tempo de espera dos navios foi reduzido em cerca de 30%, caindo de 24–48 horas para 12–18 horas. Além disso, os acidentes operacionais anuais diminuíram drasticamente, de uma média de 5–7 para apenas 0–1, representando uma redução de 90%. Esses resultados refletem os efeitos diretos da automação com sistemas inteligentes, veículos autônomos e controle digital integrado.

4.2 Portos inteligentes

Os Portos Inteligentes (*Smart Ports*) representam uma transformação radical na cadeia logística global, integrando um ecossistema de tecnologias disruptivas que inclui Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), *Big Data Analytics*, robótica avançada, veículos autônomos e blockchain. Esta quarta revolução industrial no setor portuário promete aumentar exponencialmente a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a sustentabilidade ambiental.

No entanto, a automação traz desafios significativos, especialmente para os trabalhadores portuários, cujas funções tradicionais estão sendo transformadas ou substituídas. O impacto sobre o emprego no setor portuário inclui o desaparecimento de postos de trabalho tradicionais e a necessidade de requalificação profissional para operar tecnologias mais avançadas.

Segundo a UNCTAD (2023), mais de 80% do comércio mundial de mercadorias passa por portos marítimos, tornando esta modernização tecnológica um imperativo estratégico para nações que buscam competitividade na economia global. O mercado global de portos inteligentes está projetado para crescer de US\$ 1,7 bilhão em 2021 para US\$ 15,7 bilhões até 2030, com uma taxa de crescimento anual composta de 27,3%.

Este crescimento acelerado é impulsionado pela necessidade de lidar com o aumento do volume de carga (espera-se um crescimento de 30% até 2030), restrições de infraestrutura física e pressões por operações mais sustentáveis.

4.3 Substituição de pessoas por IA

A automação tem transformado significativamente o setor portuário, especialmente com a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, como robótica, inteligência artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT). Nos portos, essas tecnologias são utilizadas para otimizar processos, reduzir erros e custos, e aumentar a eficiência operacional.

No entanto, essa transformação também traz desafios para os trabalhadores portuários. Funções tradicionais, como a operação de guindastes e a movimentação de cargas, estão sendo cada vez mais realizadas por máquinas e sistemas automatizados. Isso pode levar à redução de postos de trabalho e à necessidade de requalificação dos trabalhadores para que possam operar e manter essas novas tecnologias.

Para mitigar os impactos negativos da automação, é essencial implementar estratégias que garantam a relevância dos trabalhadores portuários. Investir em programas de treinamento e desenvolvimento para que os trabalhadores adquiram novas habilidades e conhecimentos necessários para operar tecnologias avançadas é fundamental. Isso inclui cursos sobre robótica, IA, e manutenção de sistemas automatizados. Além disso, incentivar os trabalhadores a se especializarem em áreas que ainda requerem intervenção humana, como a gestão de operações portuárias, segurança e controle de qualidade, é uma abordagem eficaz. Essas áreas são menos suscetíveis à automação completa e valorizam habilidades humanas, como tomada de decisão e resolução de problemas.

Colaborar com universidades e centros de pesquisa para desenvolver currículos que atendam às necessidades do setor portuário moderno também é uma estratégia importante. Isso pode incluir programas de estágio e aprendizado prático que preparem os trabalhadores para os desafios da automação. Encontrar um equilíbrio entre automação e emprego humano é crucial para garantir que a adoção de novas tecnologias não resulte em desemprego em massa. Esse equilíbrio pode ser alcançado através do redesenho de processos de trabalho para integrar de forma harmoniosa a automação e o trabalho humano. Por exemplo, sistemas híbridos onde a IA realiza tarefas básicas e repetitivas, enquanto os trabalhadores humanos se concentram em atividades mais complexas e que exigem criatividade.

Promover uma cultura organizacional que valorize a aprendizagem contínua e a adaptabilidade é essencial. Isso inclui criar um ambiente onde os trabalhadores se sintam seguros para experimentar novas tecnologias e desenvolver novas habilidades sem o medo de perder seus empregos. Desenvolver habilidades interpessoais, como comunicação, empatia e pensamento crítico, que são difíceis de replicar por máquinas, também é fundamental.

Essas habilidades são essenciais para funções que envolvem interação humana e tomada de decisão estratégica. Ao adotar essas estratégias, é possível criar um ambiente de trabalho onde a automação e o talento humano se complementam, resultando em maior eficiência e inovação no setor portuário.

4.4 Considerações Éticas na Implementação da Inteligência Artificial nas Operações Portuárias

A digitalização das operações logísticas não é um fenômeno recente, mas seu ritmo foi acelerado exponencialmente com o advento da Inteligência Artificial. Nos portos, essa tecnologia tem sido aplicada de maneira crescente para otimizar processos como a carga e descarga de contêineres, o gerenciamento de estoques, o rastreamento de embarcações e a previsão de condições meteorológicas. O porto de Rotterdam, por exemplo, lidera essa transformação com seu projeto de gêmeo digital (Digital Twin), que permite simular e prever operações portuárias com extrema precisão.

Em Cingapura, a aplicação da IA está integrada à governança portuária e ao monitoramento ambiental, indicando uma abordagem abrangente e inovador.

Apesar dos benefícios tangíveis, é imperativo avaliar criticamente os dilemas éticos e os impactos sociais associados ao uso intensivo de IA. Essas questões envolvem preocupações quanto ao tratamento dos dados, aos riscos de ataques virtuais e à exclusão de trabalhadores com baixa qualificação digital.

4.4.1 Privacidade de dados

A privacidade de dados é uma das questões éticas mais complexas na era digital. Em um porto inteligente, os dados são constantemente coletados por sensores IoT, câmeras de vigilância, sistemas de reconhecimento facial, dispositivos de rastreamento de carga, entre outros. Essas informações, que podem incluir dados pessoais de trabalhadores, clientes e parceiros comerciais, precisam ser protegidas contra acessos indevidos e usos não autorizados.

Segundo Zuboff (2019), o "capitalismo de vigilância" representa uma nova ordem econômica baseada na coleta e comercialização de dados comportamentais. Nos portos, isso se traduz em um ambiente em que empresas de tecnologia podem explorar dados logísticos e operacionais para fins lucrativos, muitas vezes sem o conhecimento ou consentimento dos envolvidos. Normas como o GDPR (*General Data Protection Regulation*), da União Europeia, exigem que dados sejam tratados de forma transparente, segura e com finalidades legítimas. Portanto, é essencial que os portos desenvolvam políticas robustas de governança de dados, incluindo o consentimento informado e o direito à exclusão de informações pessoais.

4.4.2 Privacidade de Segurança cibernética

Com a interconexão de sistemas e dispositivos inteligentes, os portos tornam-se alvos atrativos para ataques cibernéticos. Esses ataques podem causar interrupções nas operações, perda de dados confidenciais e danos à infraestrutura crítica. Um exemplo

marcante foi o ataque *NotPetya* de 2017, que afetou severamente as operações da Maersk, empresa de logística com presença global, incluindo em diversos portos.

A IA pode ser utilizada de forma proativa para detectar anomalias em tempo real e responder rapidamente a ameaças, por meio de sistemas de segurança baseados em aprendizado de máquina. No entanto, a autonomia desses sistemas levanta dúvidas sobre a responsabilização em caso de falhas. Como argumenta Bostrom (2014), o uso de sistemas inteligentes deve ser cuidadosamente regulado para evitar riscos incontrolláveis. A segurança cibernética, portanto, deve ser tratada como uma prioridade estratégica, com investimentos em infraestrutura, treinamento e cultura organizacional voltada à prevenção.

4.4.3 Privacidade de Segurança cibernética

A substituição de trabalhadores humanos por sistemas automatizados é uma das consequências mais visíveis da digitalização portuária. Guindastes autônomos, veículos automatizados de transporte de contêineres e softwares de gestão de armazéns têm reduzido drasticamente a necessidade de mão de obra tradicional. Estudos do McKinsey Global Institute (2017) indicam que até 800 milhões de empregos poderiam ser automatizados até 2030, impactando especialmente setores com baixa qualificação.

Contudo, é importante destacar que novas oportunidades de trabalho também surgem com a introdução da IA. Profissões ligadas à manutenção de sistemas autônomos, à análise de dados e à segurança digital estão em alta demanda. A transição para uma nova realidade profissional exige a implementação de políticas públicas e privadas de requalificação, formação técnica e educação continuada. É fundamental que os trabalhadores sejam incluídos nesse processo de mudança, garantindo-lhes oportunidades reais de inserção no novo mercado de trabalho.

4.4.4 Futuro da IA nas Operações Portuárias

O avanço da Inteligência Artificial está redefinindo as operações portuárias ao incorporar tecnologias como digital twins, machine learning, IoT, blockchain, drones e veículos autônomos. Essas inovações otimizam a logística ao reduzir tempos de atracação, aumentar a segurança e melhorar a eficiência energética. Réplicas digitais permitem o monitoramento em tempo real, enquanto a automação e o processamento de dados garantem uma gestão mais precisa e sustentável. Com o progresso tecnológico, os portos tornam-se mais automatizados, conectados e resilientes. A integração entre IA e outras ferramentas digitais promove ganhos operacionais e respostas ágeis ao comércio global. Assim, a inovação é essencial para a competitividade e sustentabilidade dos portos no cenário internacional.

5. Considerações Finais

A aplicação da Inteligência Artificial nas operações portuárias representa uma transformação profunda na gestão logística, segurança, eficiência energética e sustentabilidade dos portos. O estudo permitiu identificar que tecnologias como *digital twins*, machine learning, veículos autônomos, drones, blockchain e IoT não apenas

otimizam processos e reduzem custos, mas também tornam os portos mais resilientes frente às demandas do comércio global. Contudo, os avanços tecnológicos também trazem desafios relevantes, como a substituição de mão de obra tradicional, exigindo políticas de requalificação profissional e investimentos em infraestrutura de segurança cibernética.

Os resultados desta pesquisa indicam que a adoção inteligente e ética da IA é essencial para que os portos alcancem altos níveis de competitividade e sustentabilidade. Apesar das limitações encontradas, como os elevados custos de implementação e a complexidade de integração com sistemas legados, as tendências apontam para um cenário de crescimento contínuo do uso dessas tecnologias. Recomenda-se que estudos futuros aprofundem a análise sobre o impacto social da automação portuária e explorem estratégias de inclusão digital para os trabalhadores, de modo a equilibrar inovação tecnológica com responsabilidade social.

Referências

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Inovação digital gera economia bilionária ao setor portuário**. Brasília: Ministério de Portos e Aeroportos, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/04/inovacao-digital-gera-economia-bilionaria-ao-setor-portuario>. Acesso em: 1 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Porto sem papel: modernização, eficiência e sustentabilidade**. Brasília: Ministério de Portos e Aeroportos, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2024/03/porto-sem-papel-modernizacao-eficiencia-e-sustentabilidade>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRUNO, Margherita. **U.S. Department of Defense finds new AI solution to secure ports**. Port Technology International, 11 maio 2022. Disponível em: <https://www.porttechnology.org/news/u-s-department-of-defense-finds-new-ai-solution-to-secure-ports/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

CHEN, L.; WU, Y.; ZHANG, Q. **Balancing AI and human oversight in port security systems**. Security Technology Review, v. 7, n. 2, p. 33–47, 2022.

GARCIA, M.; SILVA, R. Cybersecurity challenges in AI-enhanced port security. **Journal of Cybersecurity and Infrastructure Protection**, v. 6, n. 1, p. 88–102, 2023.

GUARANY, P. R. C. **A importância da sinalização náutica para a segurança da navegação: o caso da Delegacia da Capitania dos Portos em Itajaí**. 2021. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais) – Diretoria de Portos e Costas, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dpc/en/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/monografias/monografia_GUARANY_04.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

HAMBURG PORT CONSULTING. **AI-Powered Ports: Unlocking Efficiency, Sustainability, and Innovation**. Publicado em 2024. Disponível em: <https://www.hamburgportconsulting.com/news/expert-insights/detail/ai-powered-ports-unlocking-efficiency-sustainability-and-innovation/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

KIM, Kibaek; KO, Dongwoo; JUNG, Juwon; RYU, Jeng-Ok; HUR, Kyung-Ja; KIM, Young-Joo. Real-Time AI-Based Power Demand Forecasting for Peak Shaving and Consumption Reduction Using Vehicle-to-Grid and Reused Energy Storage Systems: A Case Study at a Business Center on Jeju Island. **Applied Sciences**, v. 15, n. 6, p. 3050, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app15063050>. Acesso em: 1 mar. 2025.

KUMAR, S.; PATEL, R.; SINGH, A. AI-driven crisis simulation for port security. **Journal of Emergency Management**, v. 11, n. 1, p. 45–60, 2023.

LIQUIPORT. **Impulsiona Eficiência e Sustentabilidade com IA e Automação na Expansão de 2024 e 2025, nos terminais do Espírito Santo e Pernambuco**. Liquiport, 18 set. 2024. Disponível em: <https://liquiport.com.br/pt-BR/blog/liquiport-impulsiona-eficiencia-e-sustentabilidade-com-ia-e-automacao-na-expansao-de-2024-e-2025-nos-terminais-do-espirito-santo-e-pernambuco>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MEER, R. van der; JANSSEN, P.; DE VRIES, S. Predictive analytics in port operations: lessons from Rotterdam. **International Journal of Port Management**, v. 9, n. 3, p. 112–125, 2022.

NUGRAHA, S.; SIAGIAN, R. B.; SUHENDRA, T.; PUTRA, R. D.; SALVADOR, É.; CHENU, N.; KURNIAWAN, H. IoT-Enabled Real-Time Monitoring System for Electricity Consumption in Maritime SMEs: Design and Evaluation. **BIO Web of Conferences**, v. 134, p. 01008, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413401008>. Acesso em: 1 mai. 2025.

PETTEAM, Fernanda B.; POLDI, Kelly C.; RUGGIERO, Márcia A. G. Um algoritmo genético para resolução do problema de alocação de navios em berços. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 9, n. 1, 2022. Trabalho apresentado no XLI CNMAC, Unicamp – Campinas, SP, 2022. Disponível em: <https://www.sbmac.org.br/publicacoes/psbscam/>. Acesso em: 5 mar. 2025.

PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. **Artificial Intelligence in the port**. Rotterdam, 14 set. 2023. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/innovation/artificial-intelligence-port>. Acesso em: 23 mar. 2025.

SHANGHAI INTERNATIONAL PORT GROUP. **Key Data of SIPG in 2024**. Shanghai: SIPG, 2025. Disponível em: <https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4397.jhtml>. Acesso em: 3 mar. 2025.

VIEIRA, João Henrique. Modernização da gestão portuária e planejamento operacional integrado por meio de indicadores de desempenho. 2018. 121 f. **Projeto de Graduação (Engenharia Civil)** – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024763.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2025.

WANG, J.; LIU, T.; CHEN, K. Enhancing maritime traffic safety with AI-integrated AIS systems. **Maritime Safety Review**, v. 14, n. 2, p. 55–70, 2020.

ZHANG, Wei; LI, Ming; WANG, Hui. Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Review. **Applied Sciences**, v. 14, n. 18, p. 8420, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/18/8420>. Acesso em: 4 abr. 2025.

ZHANG, Y.; LI, X.; WANG, H. AI-based surveillance systems in ports: a case study on threat detection. **Journal of Security Engineering**, v. 18, n. 4, p. 78–92, 2021.

"Os conteúdos expressos no trabalho, bem como sua revisão ortográfica e adequação às normas ABNT são de inteira responsabilidade dos autores."