



**INOVAÇÃO PORTUÁRIA:
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL EM RTGs NO PORTO DE SANTOS**

***PORT INNOVATION:
DIGITAL TRANSFORMATION IN RTGs AT THE PORT OF SANTOS***

ME. ÁLVARO CAMARGO PRADO (UNIVERSIDADE PAULISTA)

alvaro.prado@fatec.sp.gov.br

BEATRIZ TAGLIONE BELUCO DA COSTA FERREIRA (UNIVERSIDADE PAULISTA)

beatriz.ferreira129@aluno.unip.br

DR. JULIO CESAR RAYMUNDO (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA)

julio.raymundo@cps.sp.gov.br

MICHELLE RICARDO LACERDA (Faculdade de Tecnologia Baixada Santista)

michelle.lacerda@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Este artigo analisa a automação de guindastes Rubber Tyred Gantry (RTG) no Porto de Santos, maior complexo portuário da América Latina, sob a perspectiva dos paradigmas Porto 4.0 e Porto 5.0. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão de literatura, utilizando o protocolo PRISMA, complementada por relatórios institucionais e dados oficiais. Os resultados evidenciam que a adoção de RTGs eletrificados e automatizados gera ganhos concretos em eficiência, com aumento de até 30% na produtividade, redução de custos de manutenção e cortes significativos nas emissões de CO₂. Com os benefícios ambientais, a automação promove melhorias na ergonomia e segurança do trabalho, ao substituir cabines físicas por operações remotas. Os avanços permanecem desiguais entre terminais, limitados por altos custos de implementação, deficiências em infraestrutura digital e resistência sindical. A comparação com portos líderes como Roterdã, Hamburgo e Singapura demonstra que a competitividade internacional depende não apenas da tecnologia, mas da integração entre inovação, políticas públicas, governança e valorização da força de trabalho. Conclui-se que a automação de RTGs é um passo para a modernização portuária brasileira, mas sua consolidação exige investimentos contínuos, programas de requalificação profissional e estratégias nacionais que conciliem tecnologia, sustentabilidade e inclusão social.

Palavras-chave: automação portuária; RTG; porto de Santos; inovação; sustentabilidade.

ABSTRACT

This article analyzes the automation of Rubber Tyred Gantry (RTG) cranes at the Port of Santos, the largest port complex in Latin America, from the perspective of the Port 4.0 and Port 5.0 paradigms. The research was conducted through a literature review, using the PRISMA protocol, complemented by institutional reports and official data. The results show that the adoption of electrified and automated RTGs generates concrete efficiency gains, with up to a 30% increase in productivity, reduced maintenance costs, and significant cuts in CO₂ emissions. Beyond environmental benefits, automation also improves ergonomics and workplace safety by replacing physical cabins with remote operations. However, progress remains uneven across terminals, constrained by high implementation costs, gaps in digital infrastructure, and union resistance. A comparison with leading ports such as Rotterdam, Hamburg, and Singapore demonstrates that international competitiveness depends not only on technology, but also on the integration of innovation, public policy, governance, and workforce development. It is concluded that RTG automation represents a step toward Brazilian port modernization, but its consolidation requires continuous investment, professional retraining programs, and national strategies that reconcile technology, sustainability, and social inclusion.

Keywords: port automation; RTG; port of Santos; innovation; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A modernização portuária é um ponto importante para o aumento da competitividade global, sobretudo em um contexto em que cadeias de suprimentos exigem eficiência, rastreabilidade e sustentabilidade. O Porto de Santos, maior da América Latina, movimenta aproximadamente um terço do comércio exterior brasileiro e constitui o ambiente ideal para analisar a introdução de tecnologias digitais e automatizadas na operação portuária.

Entre as inovações mais relevantes, destacam-se os guindastes *Rubber Tyred Gantry* (RTG), cuja automação vem sendo gradualmente implementada no país. Esses equipamentos são essenciais na movimentação de contêineres, possibilitando maior precisão, segurança operacional e redução de impactos ambientais quando convertidos em modelos elétricos e integrados a sistemas digitais de gestão.

O conceito de Porto 4.0 fundamenta-se na digitalização, uso intensivo de Internet das Coisas (*IoT*), inteligência artificial (IA) e integração de dados em tempo real. Já o paradigma de Porto 5.0 amplia essa lógica, valorizando a sustentabilidade e o papel humano na operação, com foco em bem-estar social e responsabilidade ambiental. No entanto, no Brasil, a transição entre esses dois modelos ocorre de forma desigual: enquanto alguns terminais já adotam RTGs eletrificados e controle remoto, outros ainda operam em sistemas convencionais, refletindo disparidades estruturais e

a capacidade de inovação não só pelos altos investimentos mas também o acesso a estas tecnologias que no seu conjunto é escasso no Brasil.

O artigo tem como objetivo analisar como a automação de RTGs contribui para a modernização do Porto de Santos, evidenciando tanto os benefícios em termos de eficiência, sustentabilidade e competitividade quanto os desafios relacionados a infraestrutura, custos e adaptação da força de trabalho. Propõe-se responder à seguinte questão: de que maneira a automação de guindastes RTG pode transformar a movimentação de cargas containerizadas no Porto de Santos?

A relevância do estudo reside no fato de que a automação portuária no Brasil ainda é recente e enfrenta barreiras técnicas, culturais e econômicas. Comparações internacionais, especialmente com portos como Roterdã, Hamburgo e Singapura, permitem identificar práticas consolidadas que podem servir como referência, ao mesmo tempo em que ressaltam as especificidades do contexto brasileiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O debate sobre automação portuária insere-se no escopo da Indústria 4.0, marcada pela digitalização, pela integração de sistemas ciberfísicos e pelo uso intensivo de tecnologias como *IoT*, inteligência artificial e big data (Schwab, 2019; Vial, 2019). No setor logístico, esse paradigma se traduz no Porto 4.0, modelo em que sensores, guindastes automatizados e plataformas digitais permitem maior rastreabilidade e eficiência (Majoral, Reyes e Saurí, 2023).

Embora o Porto 4.0 tenha ampliado a produtividade e reduzido erros humanos, sua aplicação mostrou limitações. Experiências internacionais demonstram que operações totalmente automatizadas podem gerar altos custos de implementação e baixa flexibilidade em contextos de demanda variável. Isso explica a adoção de modelos híbridos, nos quais a automação se combina à supervisão humana (OECD, 2021). Na Figura 1 da (ES Brasil, 2025), apresenta o Porto 4.0 com foco tecnológico.

Figura 1 – Porto 4.0



Fonte 1: ESBrasil (2025)

A evolução para o Porto 5.0 surge como resposta a essas fragilidades, ao reposicionar o fator humano e a sustentabilidade no centro das operações. Esse modelo valoriza a ergonomia, a capacitação profissional e a redução de impactos ambientais, defendendo que competitividade global só é alcançada se aliada à responsabilidade social e ecológica (Oliveira, Pereira e Fonseca, 2023). Nesse sentido, tecnologias colaborativas, como controle remoto, realidade aumentada para manutenção e exoesqueletos, configuram exemplos de integração humano-máquina que redefinem o papel do trabalhador portuário.

O Porto de Santos ilustra bem a assimetria da modernização brasileira. Enquanto alguns terminais investem em RTGs eletrificados e rede 5G privada, outros ainda operam com equipamentos movidos a diesel e processos manuais. Essa desigualdade gera lacunas competitivas internas e revela a ausência de uma estratégia nacional de modernização portuária (Nardi, Lima e Silva, 2023).

Comparativamente, portos como Roterdã, Hamburgo, Qingdao e Singapura já operam em níveis avançados de automação, sustentados por infraestrutura robusta e políticas públicas consistentes. Tais experiências demonstram que a eficiência não decorre apenas da tecnologia em si, mas da integração entre governança, inovação e formação de mão de obra (Domenico Gattusoa, 2024). Ao transpor essas práticas para o Brasil, é necessário considerar fatores como a dependência de investimentos privados, os custos de energia e a resistência sindical frente à automação.

Assim, o referencial teórico evidencia que a transformação digital nos portos não pode ser vista como um processo tecnológico. Trata-se de uma mudança organizacional complexa, que exige alinhamento entre políticas públicas, cultura de inovação, sustentabilidade e valorização da força de trabalho.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo adota uma abordagem fundamentada em revisão sistemática da literatura com base no protocolo PRISMA (Moher *et al.*, 2009) et al., 2009). A escolha desse método se justifica pela necessidade de mapear criticamente o estado da arte sobre automação portuária e aplicação de guindastes RTG, considerando os paradigmas Porto 4.0 e Porto 5.0.

A pesquisa foi conduzida em bases científicas como *Web of Science*, *Scopus*, *ScienceDirect*, *EBSCO* e *Google Acadêmico*, utilizando as palavras-chave: “*Industry 4.0*”, “*Industry 5.0*”, “*Smart Port*”, “*Digital Transformation*” e “*Rubber Tyred Gantry Cranes (RTG)*”. O recorte temporal priorizou os últimos dez anos, período em que os conceitos de Porto 4.0 e Porto 5.0 ganharam maior relevância.

Foram inicialmente identificados 212 estudos, dos quais 55 atenderam aos critérios de inclusão (relação direta com automação portuária e/ou uso de RTGs). Após análise de relevância e duplicidade, 16 artigos foram selecionados para discussão aprofundada. Além da literatura científica, foram incluídos relatórios

institucionais (Porto de Santos, 2025; Santos Brasil, 2023; OECD, 2021; UNCTAD, 2018) para complementar a análise empírica com dados de desempenho e movimentação de contêineres.

A experiência do Porto de Santos, por ser o maior da América Latina e o único brasileiro listado entre os cem maiores do mundo, constituindo um laboratório privilegiado para a aplicação e avaliação das tecnologias de automação neste momento. Os dados foram confrontados com análises independentes da (OECD, 2021), da (UNCTAD, 2018) e de artigos acadêmicos que problematizam os desafios da automação (Rodrigues, 2022; Nardi, Lima e Silva, 2023). Assim, a metodologia buscou não apenas pesquisar dados, mas promover uma leitura crítica, identificando convergências e contradições entre diferentes fontes.

4 DESENVOLVIMENTO DO ARTIGO

A literatura especializada e os relatórios institucionais analisados apontam que a automação de guindastes (RTG) constitui uma das principais estratégias para elevar a competitividade do Porto de Santos no cenário global. Os RTGs, tradicionalmente movidos a diesel e operados manualmente, vêm sendo gradualmente convertidos em equipamentos eletrificados e automatizados, permitindo maior precisão, eficiência energética e integração com sistemas digitais de gestão (Monteiro, Silva e Bahia, 2021; Steiner, Silveira e Buss, 2022).

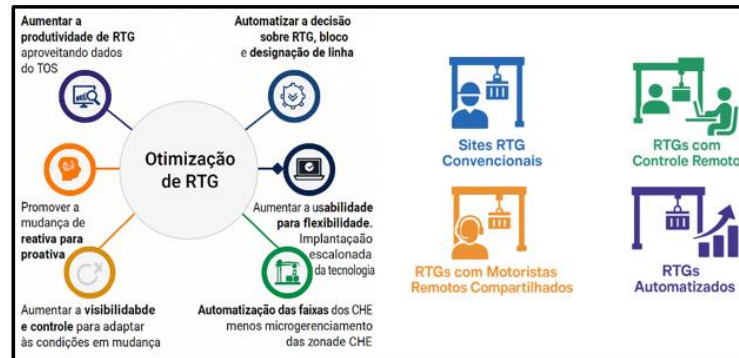
4.1 Ganhos Operacionais

Estudos demonstram que a conversão de RTGs movidos a diesel para modelos eletrificados e automatizados resulta em aumentos de 21% a 30% na produtividade, redução de custos de manutenção em até 80% e maior precisão na movimentação de contêineres (Moura, Patrício e Botter, 2016; Santos Brasil, 2023) Além disso, a operação remota elimina a necessidade de cabines físicas nos guindastes, reduzindo a exposição de trabalhadores a ruídos, vibrações e gases poluentes, o que configura um ganho ergonômico e de saúde ocupacional (Jobran e Kara, 2022).

Promovendo a sustentabilidade e o ganho ambiental, cada RTG eletrificado pode reduzir até 21 toneladas de CO₂ por mês, e a eletrificação total da frota poderia cortar 97% das emissões no pátio de contêineres (Sepúlveda, 2023). Esses resultados alinham-se a metas globais de descarbonização e conferem ao Porto de Santos posição estratégica frente às exigências do comércio internacional, cada vez mais pautado por práticas sustentáveis (UNCTAD, 2018; OECD, 2021).

A Figura 2 mostra uma organização mais eficiente dos contêineres, possibilitada por sistemas automatizados, contribuindo para a otimização do espaço no terminal (Moura, 2018).

Figura 2 – Vantagens da Automação do RTG



Fonte: Autores (2025)

4.2 Desafios Estruturais

Apesar dos benefícios, a automação enfrenta barreiras significativas. O Porto de Santos é composto por diferentes terminais, com graus desiguais de modernização. Enquanto alguns, como o TECON Santos, já operam RTGs elétricos e investem em rede privada 5G, outros ainda utilizam equipamentos convencionais, movidos a diesel e sem integração digital (Porto de Santos, 2025). Essa heterogeneidade interna gera desigualdade competitiva e dificulta a criação de um modelo portuário padronizado (Rodrigues, 2022).

Outro desafio é o alto custo de implementação. A aquisição de RTGs eletrificados ou a conversão de modelos existentes exige investimentos multimilionários, o que limita a adesão de terminais menores ou de operadores com menor capacidade de financiamento. Além disso, a infraestrutura elétrica e digital brasileira nem sempre está preparada para sustentar operações intensivas em automação, o que reforça a necessidade de políticas públicas coordenadas (Lima, Silva e Nardi, 2021).

4.3 Impactos Sociais e Culturais

A automação portuária também gera tensões no mercado de trabalho. Embora promova melhores condições de segurança e conforto, reduz a necessidade de operadores em atividades tradicionais, exigindo requalificação profissional e mudança de perfil da mão de obra. Relatos apontam resistência sindical diante do temor de substituição de trabalhadores (Nardi, Lima e Silva, 2023).

A experiência internacional mostra que a automação não implica necessariamente redução líquida de empregos, mas sim transformação das funções. Em Roterdã e Singapura, por exemplo, a introdução de guindastes automatizados foi acompanhada de programas de capacitação, criando novos postos em monitoramento

remoto, análise de dados e manutenção avançada (Majoral, Reyes e Saurí, 2023; OECD, 2021). A ausência de políticas semelhantes no Brasil pode aprofundar a exclusão de trabalhadores menos qualificados (Magalhães, Santos e Reis, 2021).

4.4 Comparações Internacionais

Os portos de Roterdã, Hamburgo, Qingdao, Xangai e Singapura operam em estágios avançados de automação, com integração plena entre guindastes, sistemas digitais e monitoramento humano. Esses casos demonstram que a eficiência não depende apenas da tecnologia em si, mas de sua integração com governança e políticas públicas (Domenico Gattusoa, 2024; OECD, 2021).

No Brasil, os avanços são fragmentados e fortemente dependentes de iniciativas privadas. A falta de uma estratégia nacional de modernização portuária limita a velocidade de adoção e coloca o país em desvantagem frente a competidores globais (Rodrigues, 2022). Assim, embora o Porto de Santos tenha alcançado a 37ª posição entre os cem maiores do mundo em 2024, sua ascensão só será sustentável se acompanhada de investimentos contínuos em infraestrutura digital e capacitação de trabalhadores (ANTAQ, 2025; Porto de Santos, 2025).

4.5 Integração Porto 4.0 e Porto 5.0

A integração sugere que o Porto de Santos vive uma fase de transição. Elementos do Porto 4.0, como digitalização, rastreabilidade e automação, já se encontram presentes, sobretudo com a adoção de guindastes eletrificados e redes privadas de conectividade (Moura, 2023; Porto de Santos, 2025). Paralelamente, surgem iniciativas incipientes de Porto 5.0, que incluem políticas de sustentabilidade, descarbonização e valorização do trabalhador (Oliveira, Pereira e Fonseca, 2023; Sepúlveda, 2023). Esse hibridismo pode ser positivo, desde que se consolide em uma estratégia nacional que equilibre tecnologia, sustentabilidade e inclusão social, alinhando a experiência brasileira às práticas já consolidadas em portos como Roterdã e Singapura (Domenico Gattusoa, 2024; OECD, 2021).

O desenvolvimento evidencia que a automação de RTGs, embora represente avanço relevante, não é suficiente para garantir a competitividade internacional do Porto de Santos. O futuro dependerá da capacidade de articular investimentos tecnológicos com políticas públicas, formação profissional e práticas sustentáveis, transformando a modernização portuária em um processo integrado (Nardi, Lima e Silva, 2023; Rodrigues, 2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que a automação de guindastes RTG no Porto de Santos tem gerado ganhos em produtividade, sustentabilidade e segurança operacional, mas também evidencia limitações estruturais e sociais que comprometem sua plena consolidação (Santos Brasil, 2023).

A conversão de equipamentos movidos a diesel para modelos eletrificados e automatizados elevou a produtividade em até 30%, reduziu custos de manutenção em aproximadamente 80% e contribuiu para cortes significativos nas emissões de gases de efeito estufa, estimados em até 21 toneladas de CO₂ por mês por guindaste (Moura, Patrício e Botter, 2016; Sepúlveda, 2023). Além dos ganhos ambientais, a operação remota eliminou a necessidade de cabines físicas, reduzindo a exposição dos trabalhadores a ruídos, vibrações e poluentes, e proporcionando melhores condições de ergonomia e segurança. Esses avanços reforçam a automação como vetor estratégico de modernização portuária.

No entanto, os resultados também revelam a desigualdade tecnológica entre os terminais do Porto de Santos. Enquanto operadores como o TECON investiram em guindastes elétricos e rede privada 5G, outros ainda dependem de RTGs convencionais, movidos a diesel e com baixa integração digital. Essa heterogeneidade interna cria disparidades de desempenho e dificulta a consolidação de um modelo portuário padronizado, além de evidenciar a ausência de uma estratégia nacional coordenada para a automação (Porto de Santos, 2025).

O alto custo de aquisição dos RTGs, somado à necessidade de infraestrutura elétrica e digital robusta, limita a expansão das tecnologias e reforça a dependência de iniciativas privadas (Domenico Gattuso, 2024).

A automação elevou a segurança e reduziu riscos ocupacionais, sua comparação internacional em portos como Roterdã e Singapura, essa inovação foi acompanhada por políticas públicas de capacitação, que permitiram reorientar a mão de obra para funções de maior valor agregado, evitando exclusão social.

Do ponto de vista da competitividade internacional, os resultados mostram que o Porto de Santos vem ampliando sua participação no cenário global, alcançando a 37ª posição entre os cem maiores portos de contêineres em 2024, com previsão de crescimento de 11,7% em 2025 (Porto de Santos, 2025). Ainda assim, permanece distante da performance de portos líderes como Xangai, Hamburgo e Singapura, onde a automação é integrada a políticas públicas, governança digital e estratégias de sustentabilidade. Esses casos internacionais confirmam que a eficiência não depende apenas da aquisição de equipamentos, mas de uma articulação sistêmica que combine tecnologia, infraestrutura e valorização humana.

Em síntese, os resultados e a discussão revelam que o Porto de Santos se encontra em um estágio híbrido, no qual práticas típicas do Porto 4.0, baseadas em digitalização e automação, coexistem com iniciativas incipientes de Porto 5.0, que priorizam sustentabilidade e qualidade do trabalho (Moura, 2023).

O processo de modernização, portanto, avança, mas permanece fragmentado e condicionado a barreiras estruturais, econômicas e culturais. Conclui-se que a

automação de RTGs constitui um passo relevante para a transformação do Porto de Santos, mas sua consolidação como referência global exige investimentos contínuos, políticas públicas de apoio, fortalecimento da infraestrutura digital e elétrica, e, sobretudo, estratégias de inclusão social que integrem trabalhadores ao novo paradigma tecnológico (Moura, Patrício e Botter, 2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automação de guindastes RTG no Porto de Santos representa um marco estratégico para a modernização portuária no Brasil. Os resultados evidenciam ganhos concretos em produtividade, segurança operacional e sustentabilidade ambiental, alinhando o maior porto da América Latina às exigências do comércio internacional. Contudo, os avanços ainda são parciais e desiguais entre terminais, refletindo tanto a dependência de investimentos privados quanto a ausência de uma política pública nacional de modernização portuária.

A análise demonstrou que, embora os relatórios institucionais enfatizem benefícios expressivos, como aumento de até 30% na produtividade e redução de emissões em mais de 90%, a efetividade dessas promessas depende de fatores estruturais, culturais e regulatórios. Barreiras como altos custos de conversão, deficiências na infraestrutura elétrica e digital, além da resistência sindical, continuam limitando a velocidade de adoção tecnológica.

Do ponto de vista social, a automação impõe uma reconfiguração da mão de obra portuária. A experiência internacional, sobretudo em Roterdã e Singapura, mostra que os impactos negativos sobre o emprego podem ser mitigados quando acompanhados por políticas de requalificação profissional e programas de adaptação cultural. No Brasil, a falta de iniciativas robustas nesse sentido gera riscos de exclusão de trabalhadores e de intensificação de conflitos trabalhistas.

No cenário internacional, observa-se que a eficiência portuária decorre não apenas da automação, mas da integração entre governança, políticas públicas e infraestrutura. A experiência brasileira, portanto, precisa avançar além da aquisição de equipamentos, incorporando uma estratégia nacional que combine inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e valorização do trabalho humano.

Sugere-se, para pesquisas futuras, a realização de estudos empíricos com dados primários que comparem indicadores antes e depois da automação, tais como tempo médio de operação, consumo energético e índices de segurança laboral. Estudos comparativos entre terminais nacionais e internacionais podem enriquecer a compreensão das potencialidades e limitações do modelo brasileiro, ampliando o diálogo entre academia, setor produtivo e formuladores de políticas.

Conclui-se, portanto, que a automação de RTGs deve ser compreendida como parte de um processo mais amplo de transformação portuária, que não se esgota na dimensão tecnológica. Trata-se de uma mudança estrutural que requer articulação

entre tecnologia, sustentabilidade e inclusão social, sob pena de comprometer a competitividade internacional dos portos brasileiros e perpetuar desigualdades internas.

REFERÊNCIAS

ANTAQ. **Estatístico Aquaviário**. Agência de Transporte Aquaviário. [S.l.]. 2025.

DOMENICO GATTUSOA, D. S. P. Perspectives for ports development, based on automated container handling technologies. **Transportation Research Procedia**, Italy, 2024. 360–367.

ES BRASIL. Porto 4.0. **ESBRASIL**, 2025.

JOBTRAN, S.; KARA, M. Automation and competitiveness in global ports. **Logistics & Sustainability Journal**, v. 6, n. 4^a, p. 102-118, 2022.

LIMA, R. S.; SILVA, T. S.; NARDI, M. F. Os possíveis impactos gerados pelo processo de avanço tecnológico na automação de equipamentos de costado no Porto de Santos: um estudo baseado na ótica dos operadores. **Gestão e Negócios**, v. 22, n. 2^a, p. 45-62, 2021.

MAGALHÃES, J.; SANTOS, V.; REIS, P. Porto 4.0 e Porto 5.0: inovação tecnológica e impacto no trabalho. **Engenharia de Produção**, v. 31, n. 2^a, p. 121-139, 2021.

MAJORAL, R.; REYES, C.; SAURÍ, S. Automation in container terminals: balancing efficiency and resilience. **Journal of Transport Geography**, v. 107, p. 103–114, 2023.

MOHER, D. et al. The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 1000097, 2009.

MONTEIRO, A. D. L.; SILVA, L. B. D.; BAHIA, M. P. AUTOMAÇÃO PORTUÁRIA ALINHADA À INTERNET DAS. **FATEC LOG**, Mogi das Cruzes, 19 Junho 2021.

MOURA, C. Guindastes RTG e sua importância operacional. **Revista de Operações Portuárias**, v. 12, n. 3^a, p. 87-96, 2023.

MOURA, D. A. D. Port of Santos, Brazil: Essential factors to implement a green port system. **Progress in Maritime Technology and Engineering**, p. 11-17, 2018.

MOURA, D. A.; PATRÍCIO, M.; BOTTER, R. C. ANÁLISE DA AUTOMAÇÃO DE TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CONTÊINERES. **Gestão Industrial**, v. 12, n. 4, 2016. ISSN ISSN: 1808-0448.

NARDI, M. F.; LIMA, R. S. D.; SILVA, T. D. S. D. OS POSSÍVEIS IMPACTOS GERADOS PELO PROCESSO DE AVANÇO TECNOLÓGICO NA AUTOMAÇÃO DE



EQUIPAMENTOS DE COSTADO NO PORTO DE SANTOS: um estudo baseado na ótica dos operadores. **Revista Digital de Gestão e Negócios**, v. 1, n. 5, 2023. ISSN 2526-0669.

OECD. **Container port automation: impacts and implications**. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Paris. 2021.

OLIVEIRA, D.; PEREIRA, L.; FONSECA, J. Do Porto 4.0 ao Porto 5.0: sustentabilidade e inovação tecnológica. **Journal of Maritime Studies**, p. 55-73, 2023.

PORTO DE SANTOS. **Relatório institucional: rede 5G privada e transformação digital**. Santos. 2025.

RODRIGUES, E. M. E. A. Automação e competitividade nos portos brasileiros: um estudo de caso no Porto de Santos. **Revista Sistemas Logísticos**, v. 10, n. 4, p. 15-30, 2022.

SANTOS BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. SANTOS BRASIL. Santos. 2023.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2019.

SEPÚLVEDA, A. C. Brasil avança rumo à descarbonização com a chegada de dez guindastes elétricos. **Santos Brasil**, 2023. Disponível em: <<https://www.santosbrasil.com.br/>>. Acesso em: 1 Setembro 2025.

STEINER, L.; SILVEIRA, T. C.; BUSS, T. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NO CONTEXTO DO PORTO 4.0. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, Santa Catarina, 2022.

UNCTAD. **REVIEW OF MARITIME TRANSPORT**. UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. New York, p. 25-65. 2018.

VIAL, G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. **Journal of Strategic Information Systems**, 28, n. 2, June 2019. 118-144.

“Declara-se pelos autores que durante a preparação deste trabalho foi utilizado inteligência artificial para organizar tópicos e fazer paráfrases. Após utilizar esta ferramenta/serviço, os autores editaram e revisaram o texto conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.”