



OTIMIZAÇÃO INTELIGENTE DE CONTÊINERES NO PORTO DE SANTOS: UMA ABORDAGEM COM IOT E ANÁLISE DE DADOS PARA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

INTELLIGENT CONTAINER OPTIMIZATION AT THE PORT OF SANTOS: AN APPROACH USING IOT AND DATA ANALYSIS FOR OPERATIONAL EFFICIENCY

**ROBERT RICHARD DAS NEVES CORREIA DOS
SANTOS** (FATEC RUBENS LARA)

robert.santos01@fatec.sp.gov.br

PROF. DR. JOSE AUGUSTO THEODOSIO PAZETTI
(FATEC RUBENS LARA)

jose.pazetti01@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise exploratória sobre o uso de sensores IoT e ferramentas de ciência de dados aplicadas à gestão de contêineres no Porto de Santos. A pesquisa utilizou dados simulados para representar variáveis críticas de operação, como temperatura, nível de bateria, tentativas de violação, deformação estrutural e corrosão. As análises foram realizadas em ambiente Google Colaboratory, com Python e bibliotecas de visualização e estatística descritiva. Os resultados evidenciam o potencial de integração de tecnologias emergentes para priorizar inspeções, reduzir riscos de falhas estruturais e aumentar a eficiência operacional. A proposta contribui para a modernização portuária ao indicar caminhos para a adoção de soluções replicáveis em outros terminais logísticos.

PALAVRAS-CHAVE: Porto de Santos; IoT; Eficiência Operacional; Monitoramento Preditivo; Logística Portuária.

ABSTRACT

This article presents an exploratory analysis on the use of IoT sensors and data science tools applied to container management at the Port of Santos. The research used simulated data to represent critical operational variables such as temperature, battery level, intrusion attempts, structural deformation, and corrosion. Analyses were carried out in Google Colaboratory using Python and libraries for visualization and descriptive statistics. Results highlight the potential of integrating emerging technologies to prioritize inspections, reduce structural failure risks, and increase operational efficiency. The study contributes to port modernization by pointing out pathways for adopting replicable solutions in other logistics terminals.

KEYWORDS: Port of Santos; IoT; Operational Efficiency; Predictive Monitoring; Port Logistics.

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo tem papel central no comércio internacional, e a gestão de contêineres constitui um dos pontos estratégicos para o funcionamento eficiente dos portos. No caso do Porto de Santos, maior terminal brasileiro, parte dos processos de inspeção ainda é realizada de forma manual, o que demanda tempo e pode gerar custos adicionais. Nesse contexto, a utilização de tecnologias digitais como a Internet das Coisas (IoT) e ferramentas de ciência de dados surge como possibilidade de aprimorar a coleta e análise de informações sobre variáveis críticas de operação.

Este artigo tem como objetivo avaliar o uso de sensores IoT e técnicas de análise de dados aplicados à gestão de contêineres no Porto de Santos. Para isso, foram realizadas análises exploratórias com dados simulados, contemplando variáveis como temperatura, nível de bateria, tentativas de violação, deformação estrutural e corrosão. A partir desses experimentos, buscou-se identificar padrões relevantes para o monitoramento e manutenção preventiva, explorando o potencial de integração entre tecnologia e logística portuária.

A relevância do estudo reside na necessidade de soluções que apoiem a eficiência operacional do Porto de Santos e que possam futuramente ser adaptadas a outros terminais. Dessa forma, este trabalho propõe uma contribuição inicial para o debate sobre o papel da IoT e da análise de dados no aprimoramento da gestão portuária.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aplicação da inteligência artificial tem se expandido em diferentes setores, incluindo o ambiente marítimo e portuário, trazendo novas possibilidades para a gestão de cargas e contêineres (TRANSTEC WORLD, 2024).

No contexto da Indústria 4.0, a logística portuária passa a demandar integração de sensores inteligentes e análise estatística de grandes volumes de dados, ainda que a adoção prática dessas soluções em portos brasileiros seja incipiente, especialmente no que diz respeito à priorização de inspeções (GOMES, 2022).

Estudos recentes indicam que a Internet das Coisas (IoT) e sistemas de apoio à decisão são essenciais para reduzir custos ocultos, como o tempo ocioso em inspeções manuais, embora nem sempre explorem métodos quantitativos capazes de validar tais ganhos de forma robusta (INFRA NEWS TELECOM, 2025; TEIXEIRA, 2017). Esse aspecto revela uma lacuna de pesquisa que pode ser preenchida por meio da aplicação de modelos preditivos e técnicas de inferência estatística.

Considerando que o transporte marítimo representa cerca de 90% do comércio internacional e que mais de 80% das exportações brasileiras são realizadas por meio de portos (QUINTELLA, 2024), torna-se evidente a relevância de estudos voltados para a modernização da gestão portuária.

Nesse cenário, a combinação de IoT com métodos estatísticos aparece como um diferencial promissor, ao permitir otimizar processos sem substituir a infraestrutura existente, alinhando inovação tecnológica às necessidades específicas do Porto de Santos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa adota uma abordagem aplicada, baseada em análise exploratória de dados simulados e registros públicos relacionados ao Porto de Santos.

Para a condução das análises, foi utilizado o ambiente Google Colaboratory (Colab), que segundo Helo (2025), é uma ferramenta que viabiliza a execução de códigos na linguagem Python diretamente no navegador. Essa plataforma é especialmente útil para projetos de ciência de dados, pois facilita o uso de bibliotecas consagradas como pandas, numpy e matplotlib.

O pré-processamento consistiu na organização dos dados e na transformação em séries comparativas e representações visuais. Foram gerados três conjuntos principais de análises:

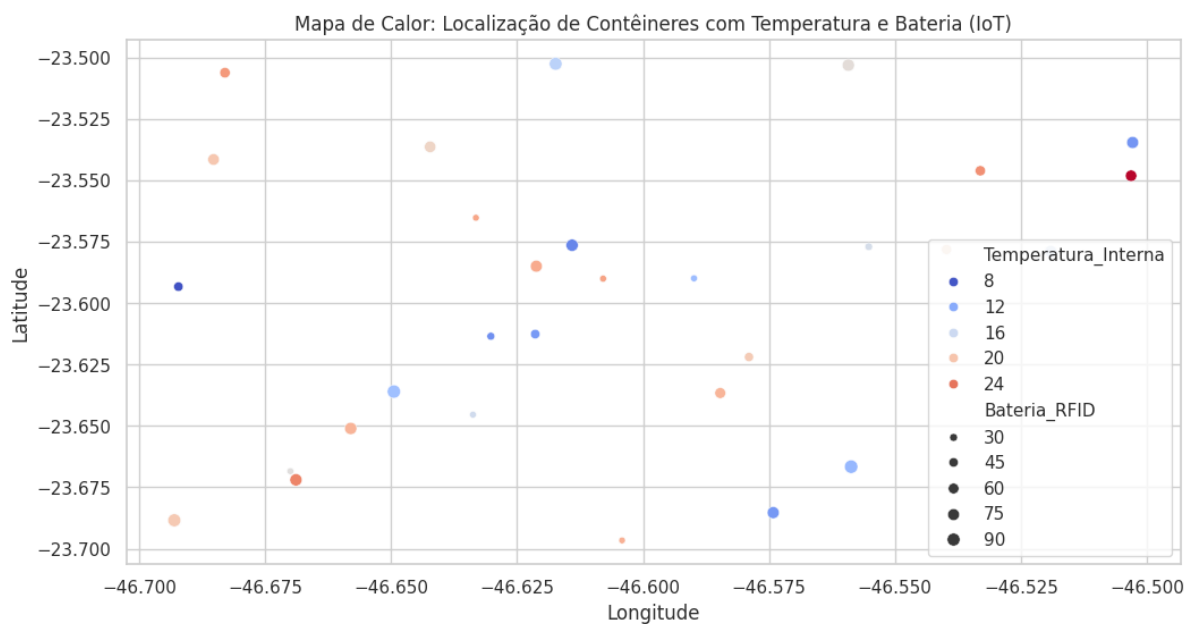
1. Mapa de calor georreferenciado, elaborado a partir de variáveis de temperatura e nível de bateria em contêineres simulados, para identificar áreas críticas de operação.
2. Gráfico de desempenho de alertas, comparando tentativas de violação e a efetividade do sistema de monitoramento em seis meses de registros, com cálculo da taxa de êxito (80%).
3. Análise de correlação entre deformação, pressão interna e corrosão, avaliando a interação dessas variáveis na determinação do risco estrutural dos contêineres.

As técnicas aplicadas foram de estatística descritiva e análise gráfica comparativa, permitindo explorar padrões de risco e eficiência nos processos de inspeção. A interpretação dos resultados buscou identificar gargalos e indicar a aplicabilidade de sensores IoT como ferramenta de monitoramento preventivo em operações portuárias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentadas análises ilustrativas fundamentadas em conjuntos de dados simulados, com o propósito de elucidar a metodologia e os procedimentos analíticos empregados no desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 1 – Temperatura e Bateria



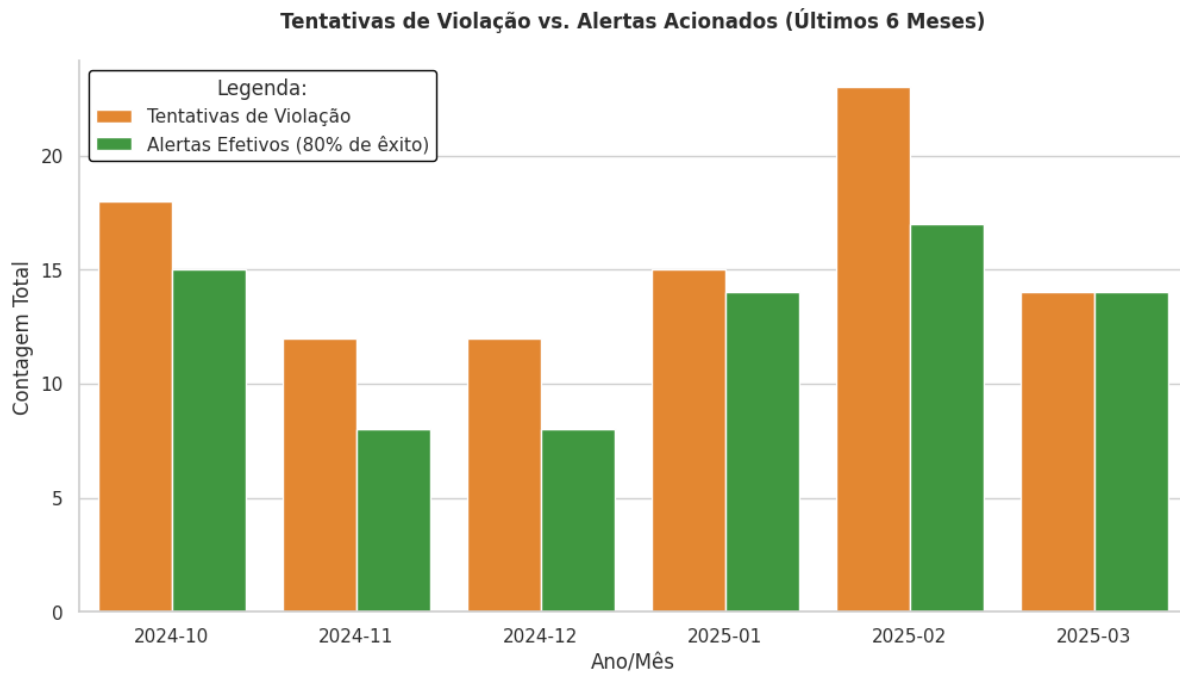
Fonte: Elaborado no Colab pelo Autor (2025).

A primeira visualização consiste em um mapa geográfico que exibe a localização de contêineres monitorados por dispositivos IoT em uma região simulada (latitude: -23,500 a -23,700; longitude: -46,700 a -46,500). Este formato permite uma análise intuitiva da distribuição espacial, destacando padrões que poderiam passar despercebidos em formatos tabulares.

O mapa de calor é sobreposto a esta base geográfica para focar em duas variáveis críticas: temperatura e nível de bateria. A primeira é um indicador direto das condições ambientais que podem afetar a integridade da carga, enquanto a segunda reflete a autonomia e a confiabilidade dos sensores para o monitoramento em tempo real.

Ao integrar a localização com o estado dessas variáveis, a ferramenta identifica pontos críticos—como *clusters* de alta temperatura ou baixa bateria—e se torna fundamental para uma gestão eficiente, suportando decisões precisas e estratégias de manutenção preventiva.

Figura 2 – Violação e Alertas



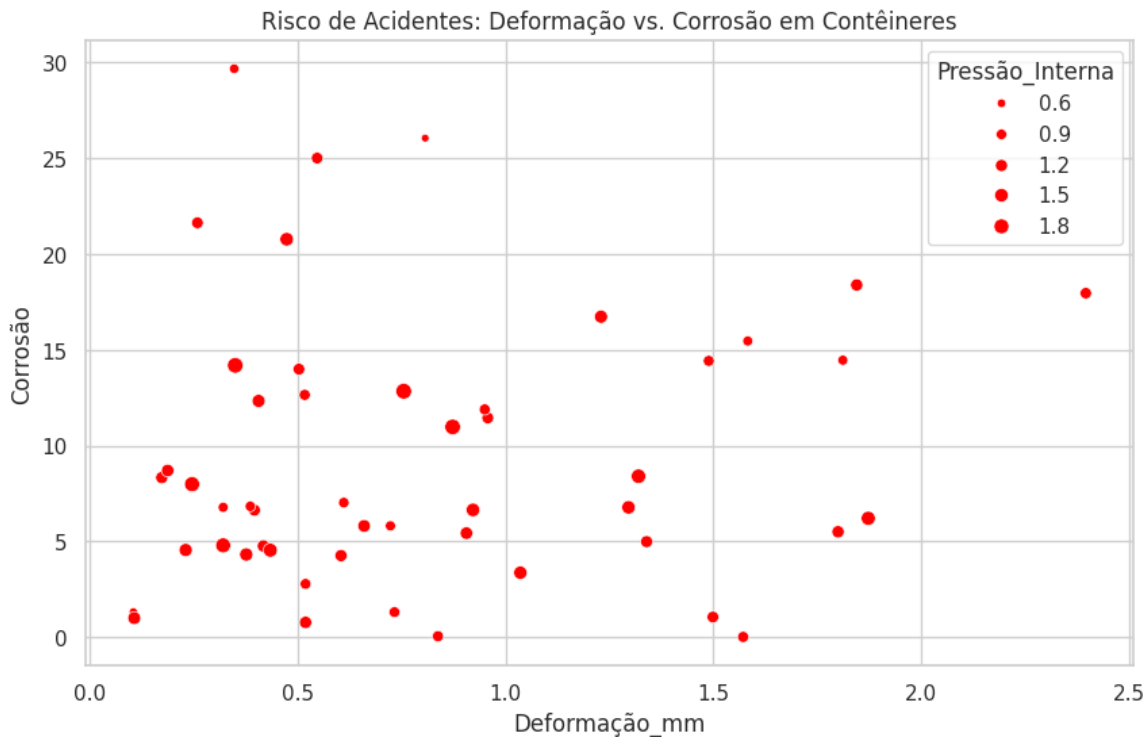
Fonte: Elaborado no Colab pelo Autor (2025).

A segunda análise apresenta a relação entre tentativas de violação e a efetividade do sistema de monitoramento ao longo de seis meses simulados (outubro de 2024 a março de 2025). O gráfico evidencia duas variáveis principais: o número de tentativas de violação registradas e os alertas acionados corretamente, com uma taxa de sucesso de 80%.

Esse conjunto experimental ilustra como o sistema poderia responder em diferentes cenários: por exemplo, picos de incidentes em determinados meses podem sinalizar maior vulnerabilidade ou falhas momentâneas na detecção.

A comparação direta entre incidentes e respostas permite avaliar a resiliência do sistema de monitoramento em um contexto operacional.

Figura 3 – Deformação e Corrosão



Fonte: Elaborado no Colab pelo Autor (2025).

A terceira visualização explora o risco estrutural em contêineres a partir da correlação entre deformação (associada à pressão interna) e corrosão. Para melhor interpretação, destacam-se os principais elementos do gráfico:

- Eixo X (Deformação_mm): Representa o grau de deformação estrutural do contêiner, em milímetros, com valores que vão de 0.0 a 2.5.
- Eixo Y (Corrosão): Indica o nível de corrosão detectado no contêiner, em uma escala que vai de 0 a 30.
- Pressão Interna: variável adicional representada pelo tamanho dos pontos, variando de 0.6 a 1.8, onde pontos maiores indicam maior pressão.

A simulação evidencia que o incremento da pressão interna conduz a um aumento da deformação, sendo que elevados níveis de corrosão exacerbam o risco de ruptura do material. Assim, contêineres que apresentam simultaneamente corrosão elevada e alta pressão interna podem ser classificados em zona crítica.

Essa visualização reforça a importância de cruzar variáveis estruturais para priorizar manutenções e evitar acidentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou o potencial significativo da integração de sensores IoT e ferramentas de ciência de dados para aprimorar a gestão de contêineres no Porto de Santos. Por meio da análise exploratória de dados simulados, que representaram variáveis críticas como temperatura, nível de bateria, tentativas de violação, deformação e corrosão, foi possível evidenciar como a tecnologia pode transformar processos tradicionalmente manuais em operações mais eficientes e seguras.

Os resultados indicam que a utilização de visualizações de dados, como mapas de calor georreferenciados e gráficos de correlação, permite a identificação rápida de padrões e áreas críticas, facilitando a priorização de inspeções e a manutenção preditiva dos contêineres. A análise comparativa de tentativas de violação e alertas efetivos também reforça a aplicabilidade de sistemas de monitoramento para aumentar a segurança das cargas.

Embora este trabalho tenha se baseado em dados simulados, ele estabelece uma base metodológica sólida e replicável para futuros projetos em outros terminais logísticos. Como limitação, aponta-se a ausência de dados reais de operação, que permitiriam a validação dos modelos em um ambiente prático.

Para pesquisas futuras, sugere-se a implementação de um projeto piloto com sensores reais no Porto de Santos para coletar dados em tempo real. Além disso, recomenda-se a aplicação de modelos de *Machine Learning* sobre esses dados para desenvolver sistemas de alerta preditivo mais robustos, capazes de prever falhas estruturais e otimizar ainda mais a alocação de recursos para inspeção e manutenção, contribuindo continuamente para a modernização e competitividade da logística portuária brasileira.



REFERÊNCIAS

GOMES, Lucas de Freitas. **Tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 para o desenvolvimento de arquiteturas de armazéns inteligentes**. 2022. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Gestão e Tecnologia Industrial, Centro Universitário Senai Cimatec, Senai, Salvador, 2022. Cap. 3.

HELO, Rogério P. de A. **Ciência de Dados - MyBook**. Disponível em: https://meusite.mackenzie.br/rogerio/MyBook/_build/html/c0_parte_1.html. Acesso em: 27 ago. 2025.

INFRA NEWS TELECOM (ed.). **NLT desenvolve estudo para rede IoT no Porto de Santos**. Redação. Disponível em: <https://www.infranewstelecom.com.br/nlt-desenvolve-estudo-para-rede-iot-no-porto-de-santos/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

QUINTELLA, Marcus. **Desafios e oportunidades nos portos brasileiros**. 2024. Disponível em: <https://mundologistica.com.br/artigos/desafios-e-oportunidades-nos-portos-brasileiros>. Acesso em: 24 ago. 2025.

TEIXEIRA, Rafael Buback. **Sistemática para alocação de cargas e reposicionamento de contêineres vazios no transporte marítimo**. 2017. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Cap. 2. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172736/001060259.pdf;jsessionid=5482089C0E3093A31E081F63C66C3898?sequence=1>. Acesso em: 26 ago. 2025.

TRANSTEC WORLD. **Impactos da inteligência artificial no setor marítimo e portuário**. 2024. Disponível em: <https://transtecworld.com/impactos-da-inteligencia-artificial-no-setor-maritimo-e-portuario/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

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

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de redação:

"Declara-se pelos autores que durante a preparação deste trabalho foi utilizada a ferramenta ChatGPT para apoio na revisão linguística e sugestões de aprimoramento. Após utilizar essa ferramenta/serviço, os autores editaram e revisaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pela publicação."