

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PRAIA GRANDE
Curso Superior de Tecnologia em Comércio Exterior

GABRIEL ALISSON DE SOUZA
GIULIA VITOR DOS SANTOS

SMART GRID – APLICABILIDADE NO MODAL MARÍTIMO

Praia Grande - SP
Junho/2025

SMART GRID – APLICABILIDADE NO MODAL MARÍTIMO

Gabriel Alisson de Souza

Fatec Praia Grande

gabriel.souza162@fatec.sp.gov.br

Giulia Vitor dos Santos

Fatec Praia Grande

giulia.santos4@fatec.sp.gov.br

Orientador: Denilson Luiz de Carvalho

Fatec Praia Grande

denilson.carvalho@fatec.sp.gov.br

RESUMO

As redes inteligentes, que integram as tecnologias avançadas de controle e comunicação, proporcionam uma gestão mais eficiente da energia a bordo. Isso resulta em diminuição significativa das emissões de CO₂ e melhoria na eficiência energética, auxiliando o setor a cumprir obrigações ambientais globais. O presente estudo examina a relevância das redes inteligentes (smart grids) no âmbito do setor marítimo, ressaltando seu papel estratégico na sustentabilidade e na eficiência operacional das embarcações. Para tanto, procedeu-se a uma revisão de literatura, com viés exploratório e abordagem qualitativa, com foco em levantamento de artigos acadêmicos nas plataformas online. Conclusivamente, observou-se que de acordo com a DNV GL, essa otimização pode levar a uma redução de custos de até 30%. Contudo, a adoção dessa nova tecnologia enfrenta obstáculos, como os elevados custos iniciais, complexidade na integração de sistemas e também a necessidade de cumprir com as regulamentações. Sob essa perspectiva, a tendência é que as redes inteligentes se tornem norma dentro da indústria marítima, refletindo a crescente busca por inovação e soluções sustentáveis.

Palavras-chave: Rede inteligente; Sistema elétrico; Embarcação; Comércio exterior.

ABSTRACT

Smart grids, which integrate advanced control and communication technologies, provide more efficient management of energy on board. This results in a significant reduction in CO₂ emissions and improved energy efficiency, helping the sector to meet global environmental obligations. This study examines the relevance of smart grids in the maritime sector, highlighting their strategic role in the sustainability and operational efficiency of vessels. To this end, a literature review was carried out, with an exploratory bias and qualitative approach, focusing on a survey of academic articles on the online platform. In conclusion, it was observed that according to DNV

GL, this optimization can lead to a cost reduction of up to 30%. However, the adoption of this new technology faces obstacles, such as high initial costs, complexity in system integration and also the need to comply with regulations. From this perspective, the trend is for smart grids to become the norm within the maritime industry, reflecting the growing search for innovation and sustainable solutions.

Keywords: Smart grid; Electrical system; Vessel; Foreign trade.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem impulsionado a modernização dos sistemas elétricos conservadoras, propiciando o surgimento das redes elétricas inteligentes, denominadas *smart grids*. As redes utilizam tecnologias de informação e de comunicação (TICs) para otimizar a geração, distribuição e consumo de energia, promovendo uma maior eficiência, confiabilidade e sustentabilidade no setor elétrico e implicando em configurações em outros segmentos (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Segundo o levantamento da *International Energy Agency* (IEA), investimentos globais nesse setor superaram os 300 bilhões de dólares nos últimos dez anos, com uma expectativa de incremento anual que extrapolam 10% até 2030 (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Com base nesse ponto de reflexão e análise, o setor de transporte marítimo enfrenta desafios crescentes referentes à sustentabilidade ambiental e à eficiência energética, especialmente em grandes embarcações de carga.

A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu, nesse contexto, metas ambiciosas e desafiadoras para reduzir as emissões de gases de efeito estufa oriundas da navegação em percentual de menos 50% até 2050, frente à gravidade e à complexidade preocupantes nesse sentido (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Diante do cenário, a integração de *smart grids* no modal marítimo desponta como uma estratégia promissora para alcançar esses objetivos. A adoção dessas redes permite, a nível exemplificativo, a implementação de portos inteligentes (*smart ports*), além de monitoramento em tempo real do consumo energético das grandes e médias embarcações e, sobretudo, uma maior integração com as fontes renováveis de energia (Cunha *et al.*, 2023).

O presente estudo tem como foco a apresentação da incorporação das redes inteligentes (*smart grids*) na matriz energética de embarcações de carga, a fim de reformular a forma como a energia é gerada, transmitida e também distribuída na infraestrutura marítima. Essa mudança visa criar, pois, uma dinâmica inovadora que aumente a eficiência energética e a sustentabilidade no transporte marítimo.

A adoção dessas soluções possibilitará uma gestão energética mais eficaz a bordo, além de otimizar logística, resultando em ações e operações que sejam mais seguras e eficientes. A estratégia tem o propósito central de não apenas melhorar a eficiência energética, mas também de promover a sustentabilidade no setor marítimo, em consonância com as metas globais de descarbonização.

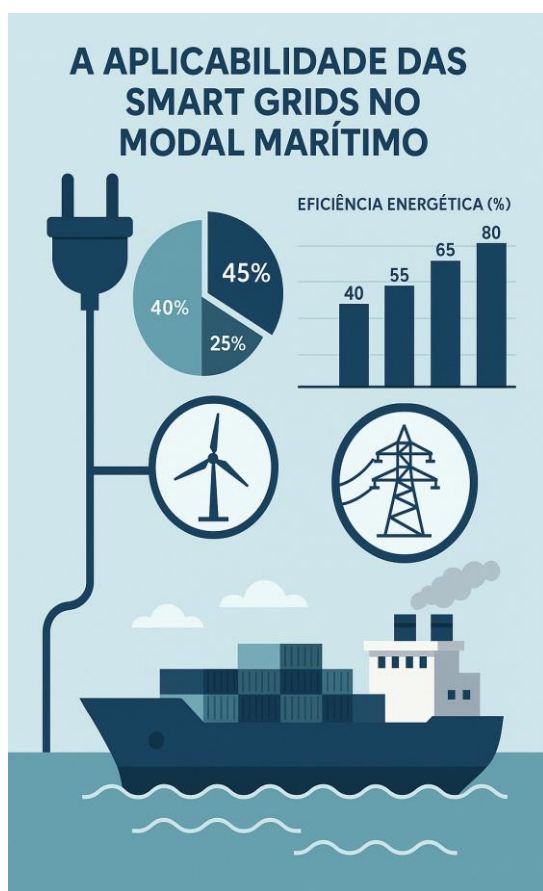
O objetivo geral deste estudo foi o de analisar o uso das tecnologias de *smart grid* no contexto do modal marítimo (grandes embarcações), discutindo acerca dos seus benefícios, desafios e potencial de integração à otimização energética e operacional. Quanto aos objetivos específicos, pretendeu-se: compreender as bases teórico-contextuais das *smart grids* e as principais tecnologias; investigar o cenário contemporâneo da aplicação das tecnologias de *smart grids* no setor marítimo; avaliar, comparativamente, as vantagens e desafios do uso de *smart grids* no modal marítimo, quanto à eficiência energética, sustentabilidade e automação; e identificar as principais barreiras técnicas e regulatórias à implementação de tecnologias *smart grids* no cenário portuário brasileiro.

Em suma, a pesquisa foi do tipo qualitativa, com a abordagem aplicada. Além disso, configurou-se como exploratória e descritiva. Com isso, a pesquisa buscou responder à seguinte questão nortadora: *Quais as principais contribuições de tecnologias de smart grids ao modal marítimo e quais são os impactos e desafios à modernização, operacionalização e eficiência energética do setor?*

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Smart grids são sistemas de energia inteligentes que utilizam tecnologias de informação e comunicação (TICs) para otimizar a geração, distribuição e consumo de energia. Em navios de carga, essas tecnológicas podem integrar diversas fontes de energia (como geradores, baterias e energias renováveis), monitorar o consumo em tempo real e controlar o fluxo de energia para se maximizar a eficiência e reduzir o consumo de combustível (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

A integração de sistemas de energia inteligentes pode resultar em aumento da confiabilidade operacional. Estudos indicam que, com a implementação de *smart grids*, falhas no sistema elétrico podem ser reduzidas em até 30%, proporcionando a navegação mais segura e automatizada. A incorporação de tecnologias emergentes, a exemplo da IA, também tem o potencial de transformar radicalmente a operação de navios, permitindo uma gestão energética mais precisa e adaptável às condições em tempo real (Souza; Duarte, 2022).



O instituto americano de tecnologia e padrões, NIST (National Institute of Standards and Technology), em um texto de 2021, define smart grid como uma rede moderna que permite o fluxo bidirecional de energia, usando comunicação nos dois sentidos e técnicas de controle, que possibilitará novas funcionalidades e as novas aplicações. A smart grid deve ser interpretada mais como conceito do que tecnologia específica. É a rede elétrica que usa as TICs, sensoriamento e automação de modo a fornecer a energia elétrica de forma eficiente, confiável e segura (Souza; Duarte, 2022).

Vislumbrando uma rede de energia condizente com o século XXI e capaz de responder aos desafios existentes na contemporaneidade é que, no ano de 2005, surge o conceito de smart grid, isto é, redes inteligentes de energia (Souza; Duarte, 2022).

Em termos conceituais, a smart grid é aquela rede que consegue integrar de forma eficiente o comportamento e ações de todos os usuários a ela conectados, “de forma a garantir sistema energético sustentável e eficiente, com baixas perdas e altos níveis de qualidade e também em segurança no abastecimento” (Oliveira; Silva; Violin, 2021, p. 74).

Fonte: Cunha, L. (2023). *Modernização da Distribuição Elétrica*. Disponível em:

<https://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2023/Larissa%20Cunha.pdf>

A principal diferença entre ela e as redes convencionais é que este modelo possui uma comunicação bidirecional, baseando-se na comunicação constante entre usinas e consumidores. Em outras palavras, a rede inteligente utiliza a tecnologia da informação para melhorar a comunicação, a automação e interconectividade da rede elétrica tradicional (Oliveira; Silva; Violin, 2021).

Desta forma, a interação em tempo real entre consumidores e produtores de energia é facilitada. Este processo otimiza a distribuição de energia. Como existe

essa comunicação bidirecional entre consumidores e usinas de geração, é possível que a energia seja transmitida conjuntamente de diferentes usinas de produção para evitar desperdício de energia elétrica, entre outras coisas. Isso garante a busca pela máxima eficiência energética já que, por sua própria natureza, a eletricidade deve ser consumida no momento em que é gerada. Contudo, não se acumula, o que não é consumido, se perde (Souza; Duarte, 2022).

Logo, a rede inteligente não pode ser entendida sem medidores inteligentes em residências e em empresas. Estes servem como um substituto para o medidor analógico tradicional. Com esses medidores digitais, são coletados dados essenciais para funcionamento do *smart grid* e todo o sistema flui bidirecionalmente, adquirindo capacidade de resposta automática diante das oscilações de produção (Alencar; Guimarães; Araújo, 2019).

Uma vez recolhidos os dados e as informações, estes são analisados e as centrais onde a energia é produzida podem prever e fazer uma estimativa fiável da energia que vai ser exigida em cada período para melhor responder às solicitações dos consumidores. Nesse mesmo aparato, é possível reduzir a produção de energia necessária quando não há demanda elevada e aumentar produção sem transtornos quando se espera períodos de pico (Ataíde *et al.*, 2021).

A *Smart Grid* pode ser entendida como um fluxo de eletricidade que interliga o sistema como um todo: desde residências, prédios públicos, fábricas, comércios, etc. até as diferentes plantas produtoras, geradoras e transmissoras. Ressalta-se que, para que seu funcionamento seja iniciado, são necessários medidores inteligentes (Alencar; Guimarães; Araújo, 2019; Ataíde *et al.*, 2021).

Desde que implementado no mundo moderno, o termo *Smart Grid* evoluiu de significado junto com a sua digitalização do setor de energia elétrica, a expansão da sub medição e, por sua vez, o foco maior no âmbito da sustentabilidade. Atualmente, as capacidades de combinar, pois, as informação de distintas fontes de produção de eletricidade, bem como de armazenamento de eletricidade, têm permitido encontrar *Smart Grids* privadas, localizadas em edifícios inteligentes ou indústrias 4.0 (Lins; Rodrigues, 2023).

Neste caso, as essas redes combinam e centralizam a informação de todos os fornecimentos elétricos, sejam diferentes fornecedores da rede de abastecimento, com outros como o auto-consumo fotovoltaico e/ou eólico, dos grupos geradores ou

baterias, com de todos os consumos gerados por elementos como luzes, máquinas ou carregadores de veículos elétricos, dentre outros (Ataíde *et al.*, 2021).

A obtenção dos dados de fornecimento de eletricidade de diferentes canais, bem como dos consumidores num determinado ponto centralizado, combinado com outras tecnologias que nos proporcionam a transformação digital, como *Big Data* e Inteligência Artificial (IA), por exemplo, são a base sobre a qual os gêmeos digitais energéticos são capazes de prever o comportamento de *smart grid* e seguem uma dinâmica similar em muitos sentidos, o que explica seu uso cada vez mais crescente em todo o mundo (Alencar; Guimarães; Araújo, 2019; Ataíde, *et al.*, 2021).

Por sua vez, esta nova forma de fazer fluir a energia melhora a eficiência da rede tradicional e possibilita a utilização da energia produzida através de sistemas de produção mais eco-sustentável do planeta, como energia eólica, hídrica e solar.

Inegavelmente, o principal desafio da rede inteligente é transformar o setor elétrico convencional e, sobretudo, atender a um dos objetivos mais importantes que é a eficiência e controle das infraestruturas. Verifica-se que o avanço do *Smart Grid* e a implantação de medidores inteligentes em residências e empresas traz consigo a garantia de proteção à privacidade do usuário (López *et al.*, 2019).

Outro grande construto de contribuição da rede inteligente são os dispositivos inteligentes que podem ser instalados nos diferentes pontos de consumo de energia em residências e empresas. Alguns podem ser constituídos por *plugs* inteligentes, monitores de eletricidade, controlador de ar condicionado ou termostato inteligente. Logo, observa-se que a adoção de diferentes dispositivos inteligentes não só ajuda a melhorar a eficiência do uso de energia, mas também reflete em um menor custo e, pois, em menor repasse ao consumidor final (Margueron; Santos, 2019).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi do tipo qualitativa, com a abordagem aplicada. Além disso, configurou-se como exploratória e descritiva. Os estudos qualitativos e exploratórios procuram, em suas particularidades, coletar as informações sobre certa temática de interesse, buscando informações relevantes, que possam colaborar com a análise (Marconi; Lakatos, 2003).

A pesquisa aplicada, por sua vez, fundamenta o presente estudo na medida em que enfatiza realização de trabalhos originais com intuito de aquisição de novos

conhecimentos científicos, contudo orientado para problematização e apresentação de soluções para diversas situações práticas (Marconi; Lakatos, 2003).

O estudo de análise e discussão de dados foi fundamentado em Revisão de Literatura (Pesquisa bibliográfica). Evidentemente, a organização dos dados foram apresentados em formas gráficas, com a adoção de quadros e de tabelas, a fim de elucidar as questões centrais que regem o presente estudo e facilitar a visualização esquemática dos descritores (eixos) analisados.

Para fundamentar a pesquisa, foram empregados os seguintes descritores-chaves para a busca da coletânea de artigos (*corpus*), com operadores *booleanos*: “Smart Grid” AND “Embarcações” AND “Comércio exterior”. A etapa foi desenvolvida por meio das seguintes bases de dados online: *Scielo* [<https://www.scielo.br/>].

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise das principais vantagens apresentadas pela adoção e também a verificação de viabilidade de redes elétricas inteligentes (*smart grids*), a Tabela 1, abaixo, discrimina os principais estudos localizados na literatura especializada sobre a temática em questão e as suas implicações no modal marítimo, considerando os 5 (cinco) últimos anos de publicação, isto é, de 2020 a 2025.

Em termos de empreendimentos, no Brasil, nesse sentido,

As smart grids representam o futuro do setor energético, a implementação desse novo paradigma oferece uma série de benefícios a todos os envolvidos. Países do mundo estão investindo em projetos relacionados à modernização do setor energético, objetivando alcançar a rede de energia elétrica mais segura, confiável, moderna e limpa. Os projetos de maior relevância ainda se concentram na região sudeste do país, onde a demanda por energia elétrica é maior. Mas, projetos menores estão em surgimento e a tendência é de que em alguns anos o país inteiro possua rede de energia elétrica inteligente (Margueron; Santos, 2019, p. 18053).

A estrutura de produção de energia elétrica no Brasil, predominantemente, é aplicável às fontes renováveis, compreendendo, segundo relatórios mais recentes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), participação percentual na composição de produção e geração elétrica, especialmente o sistema hídrico, que concentra um total de quase 55%. Por sua vez, a geração solar fechou o ano de 2024 com um aumento na potência instalada de 59,5% em relação a 2023, o que coloca o setor

como a relevância considerável na produção energética brasileira (Jean; Brasil; Silva, 2023).

Conforme o Anuário Estatístico da Energia Elétrica da EPE ⁶, com o ano-base de 2024, A capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil foi expandida em 4,1% no período entre 2022 e 2023. Quanto ao consumo por classe (em GWh), o segmento industrial foi responsável pelo consumo, em 2024, de 184.383 (o aumento de 2,2% em relação a 2023), enquanto que consumidores residenciais consumiram, no mesmo ano, 152.771 (incremento de 2% em relação a 2023).

No referido relatório da EPE 2025 não se observou qualquer mensuração ou estatística, tampouco notas explicativas, sobre redes elétricas inteligentes, o que, de fato, evidencia as problemáticas de reconhecimento desse modelo na sociedade, e, inclusive, nos órgãos de geração, transmissão e distribuição elétrica no país.

Outrossim, contribuem para a imposição de um contexto desafiador para se incentivar a implementação de redes elétricas inteligentes no Brasil, os argumentos a seguir:

É importante destacar que barreiras advindas de incertezas políticas e indefinições quanto às fontes de financiamentos e investimentos, que influenciam de forma direta nas tendências de investimento, na regulação do setor elétrico e nas diretrizes governamentais para desenvolvimento das tecnologias envolvidas no país. Logo, é necessário o desenvolvimento de uma estratégia regulatória para proteger os agentes envolvidos contra desequilíbrios econômicos. Por esta razão, a ANEEL prevê que o processo de substituição dos equipamentos seja feito no longo prazo, podendo levar até uma década para ser concluído (Jean; Brasil; Silva, 2023, p. 72).

Ademais, ante a essas reflexões e as vantagens observadas em experiências realizadas, por exemplo, em países como os Estados Unidos e as nações da União Europeia, percebe-se que o Brasil caminha, ainda, a passos muito arrastados, tendo em vista reflexos produzidos pela sua adoção em diversos aspectos (Gallotti, 2021), conforme os resultados apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Estudos sobre adoção do smart grid e suas potenciais contribuições aos modais marítimos (2020-2025)

AUTOR (ES) (ANO)	OBJETIVO	PRINCIPAIS RESULTADOS
Yoshiura <i>et al.</i>	Analisar a literatura científica para evidenciar os impactos das inovações ao longo da evolução do setor portuário,	A análise do portfólio bibliográfico evidenciou a demanda de mercado e as regulamentações como principais fatores de seleção das inovações; os

(2022)	suas tendências atuais de inovação e processos	portos '4.0', tecnologias inteligentes (smart grids) e portos 'verdes' como trajetórias tecnológicas atuais; e a tendência colaborativa entre os atores do setor.
Gorges (2021)	Caracterizar o conceito de portos inteligentes e investigar a implementação de práticas inteligentes em portos e terminais brasileiros.	Dentre os com menor taxa de implementação, estão os componentes Energia com 25%. Os resultados mostram que ainda há um longo caminho a se percorrer para que os portos e terminais brasileiros alcancem o título de portos inteligentes e smart grids, no entanto, os primeiros passos já foram dados.
Cunha <i>et al.</i> (2023)	Explorar o estado atual das inovações e tecnologias inteligentes nos portos brasileiros	Novas tecnologias ainda são incipientes para alguns portos, enquanto outros ainda não as adotaram. Por exemplo, apenas alguns portos pesquisados usaram tecnologias inteligentes, como Internet das Coisas, tecnologia blockchain, sistemas automatizados ou smart grids.

Fonte: Elaboração própria (2025).

O setor marítimo desempenha papel estratégico no comércio global, sendo responsável pelo transporte de cerca de 80% das mercadorias comercializadas internacionalmente. Ademais, portos e embarcações de grande porte, especialmente, operam continuamente, demandando altos níveis de energia e eficiência operacional nesse processo, o que evidencia uma necessidade maior de se refletir sobre novas abordagens de eficiência energética aplicáveis a este setor e a uso de ferramentas tecnológicas nesse contexto (Margueron; Santos, 2019).

Com a profusão de novas tecnologias, principalmente os sistemas inteligentes e consequentemente a maior sensibilização sobre as pautas sustentáveis, torna-se indispensável modernizar e automatizar as infraestruturas portuárias e os sistemas embarcados, a fim de se pensar em soluções práticas e assertivas que aglutinem inovação tecnológica, eficiência energética e redução de impactos ambientais dentro do segmento portuário e modal marítimo. Essa necessidade fica refletida ao se ver, na literatura especializada recente publicada nos últimos dez anos, poucos estudos e análises do tema das tecnologias inteligentes no âmbito da eficiência energética e automação em embarcações e em modernização dos sistemas portuários no Brasil (Cunha *et al.*, 2023).

Ainda que as tecnologias *smart grids* sejam amplamente difundidas no viés da literatura, de forma geral, por outro lado a sua inclusão no modal marítimo ainda é rasa, contraproducente e demanda uma maior investigação, o que reforça o valor do presente estudo. A aplicabilidade dessas redes inteligentes em portos e navios pode representar, pois, um avanço expressivo sobretudo na gestão energética, permitindo um maior controle, automação, descarbonização e reflexos na sustentabilidade.

A partir dessas ponderações, o presente trabalho propõe analisar como as tecnologias *smart grids* podem ser incorporadas ao setor marítimo, avaliando seus benefícios, obstáculos principais e as contribuições à modernização e automação do transporte marítimo, impactando positivamente o meio ambiente a partir de bases de alta eficiência energética (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022) e em melhorias no contexto de análise da área de Comércio Exterior.

A infraestrutura energética que fundamenta operações portuárias e grandes embarcações comerciais ainda é, preferencialmente no país, alicerçada em sistemas conservadores e descentralizados, com reduzida capacidade de monitoramento em tempo real e restrita integração com fontes renováveis de energia. Em muitos portos brasileiros, ao contrário do que se observa em países desenvolvidos como os EUA e União Europeia (UE), a energia elétrica aplicada às embarcações é oriunda de redes públicas, sem qualquer controle inteligente das cargas ou priorização de consumo, o que reflete em grandes perdas, em sobrecarga do sistema e sobretudo um alto custo operacional (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022).

No contexto das embarcações de grande porte, a geração de energia ocorre de forma principal por meio de motores a diesel, que geram um abastecimento de propulsão. Esse processo de geração de energia, evidentemente, contribui para uma maior emissão de poluentes do ar atmosférico, ampliando impactos do efeito estufa, além de consideravelmente interferir em gerenciamento eficiente da energia a bordo, ainda mais em viagens longas e operações portuárias de maior duração (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

A falta de sistemas interconectados, com base em modulação inteligente - as *smart grids* - e automatizados restringe potencialmente a capacidade de estímulos e resposta a falhas, *gaps* operacionais e otimização do consumo energético com base em uma demanda real. Esses obstáculos discriminam, pois, a busca indiscriminada por soluções eficientes e sustentáveis, com reflexo na gestão energética dinâmica e

inteligente, articulada aos princípios basilares da eficiência operacional e também de fundamentos sustentáveis.

A aplicabilidade de tecnologias *smart grids* no modal marítimo não ocorre de forma intermitente, no entanto combinada com outras ferramentas emergentes que ampliam seu potencial de eficiência energética, modernização e automação. Um dos principais exemplos é o uso de Internet das Coisas (IoT), que possibilita a instalação de sensores e de dispositivos integrados em tempo real para propiciar um melhor monitoramento de consumo energético em embarcação, além de também mensurar o desempenho de equipamentos e condições ambientais (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Outra ferramenta tecnológica eficiente é a Inteligência Artificial (IA), que pode ser aplicada a esse contexto para subsidiar previsão de padrões de consumo com ênfase energética, bem como automatizar decisões energéticas e sugerir estratégias mais usuais e eficazes, com um alto retorno sustentável às embarcações. Ademais, os sistemas de armazenamento de energia inteligentes e a integração com fontes renováveis tendem, pois, a reforçar o conceito estratégico de sustentabilidade e uma maior autonomia energética, minimizando dependência de combustíveis fósseis que ainda dominam esse segmento (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022).

As soluções baseadas em *Edge Computing*, outro forte argumento, permitem que os dados e informações de eficiência energética sejam processados de maneira local e situacional, nas embarcações de médio e grande porte e transporte de carga, potencializando o uso de redes mais inteligentes. A integração dessas tecnologias emergentes e inteligentes representa uma profunda transformação estratégica para o setor marítimo, desenvolvendo possibilidades mais viáveis à construção de sistema energético mais inteligente e sustentável. (Cunha *et al.*, 2023)

A nível exemplificativo, o Porto de São Sebastião, situado no Estado de São Paulo (SP), tem buscado desenvolver estratégias inteligentes de modernização e de ampliação da capacidade operacional. O projeto em evidência propõe a construção de terminal regional de contêineres, para reduzir a sobrecarga do Porto de Santos e melhorar a eficiência logística na região (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022).

Ainda que o projeto não mencione explicitamente a implementação de ações e tecnologias orientadas a *smart grids*, as iniciativas que mudanças na infraestrutura portuária indicam a possibilidade de conjugação das operações com as tecnologias inteligentes. O projeto abre espaço para a adoção de sistemas de gestão energética

mais avançados, com observância especial em medidores inteligentes, automação de processos e integração com fontes de energia renovável (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022).

Claramente essas mudanças no Porto de São Sebastião/SP desenha, pois, uma oportunidade à usabilidade de tecnologias *smart grid*, objetivando melhorias no campo da eficiência operacional e no contexto ambiental oriundo da atividade central portuária, com implicações na minimização de custos energéticos (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022).

O Quadro abaixo traz as principais ferramentas tecnológicas inteligentes - as *smart grids* - com fundamento em melhorias na eficiência energética observáveis no projeto do Porto de São Sebastião (SP). Quadro 2 – Tecnologias, Descrições e Benefícios Esperados na Implementação de Smart Grid

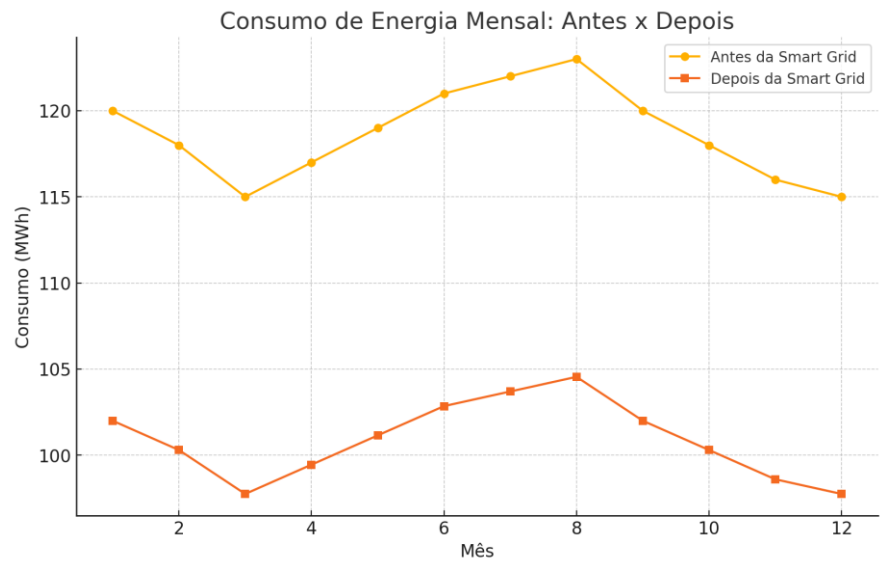
Quadro 2 – Tecnologias Inteligentes Aplicadas ao Porto de São Sebastião e Seus Benefícios na Implementação de Smart Grids

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO	BENEFÍCIOS ESPERADOS
Medidores Inteligentes (<i>Smart Meters</i>)	Dispositivos que monitoram o consumo energético em tempo real nos diversos setores do porto.	Otimização do consumo, prevenção de sobrecargas, controle detalhado por setor.
Sensores IoT e Atuadores	Equipamentos que coletam dados ambientais e operacionais e executam comandos automatizados.	Eficiência operacional, manutenção preditiva e economia de energia.
Fontes Renováveis de Energia	Instalação de painéis solares, turbinas eólicas e estudo para aproveitamento de energia das marés.	Sustentabilidade, redução da dependência da rede pública, menor emissão de poluentes.
Sistemas de Armazenamento de Energia (BESS)	Baterias que armazenam energia excedente para uso em horários de pico.	Redução de custos, maior autonomia energética, estabilidade na distribuição.
Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS)	Plataforma centralizada que analisa dados, gerencia e otimiza o uso de energia.	Tomada de decisão em tempo real, previsibilidade de consumo, relatórios de desempenho.
Automação de Equipamentos Portuários	Guindastes, iluminação, climatização e sistemas elétricos com funcionamento inteligente e controlado.	Redução de desperdício, menor consumo energético, segurança operacional.
Sistemas de Monitoramento Ambiental e Logístico	Controle de emissões, qualidade do ar e gestão de veículos e cargas com suporte a fontes energéticas limpas.	Aderência a normas ambientais, melhoria na logística interna, valorização institucional.

Fonte: Elaboração própria (2025).

As imagens abaixo discriminam e ilustram os impactos do uso de *smart grids* no contexto do modal marítimo (médias e grandes embarcações), comparando o seu consumo energético (antes e depois da sua usabilidade) e os efeitos na redução dos poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa (gráfico de dispersão).

Figura 2 – Consumo de Energia Mensal Antes e Depois da Implementação do Smart Grid



Fonte: Cunha *et al.* (2023).

Comparativamente, pode-se destacar os seguintes benefícios antes e depois da aplicabilidade das tecnoloif *smart grids* em algumas embarcações marítimas do Porto de São Sebastião (SP) (Tabela 1):

Tabela 1 - Comparação do consumo energético (kWh) antes e depois da implementação de *smart grids* na embarcação do Porto de São Sebastião (SP)

PERÍODO DE ANÁLISE	CONSUMO MÉDIO MENSAL (KWH)	REDUÇÃO (%)
Antes do <i>Smart Grid</i>	25.000	—
Depois do <i>Smart Grid</i>	18.000	28%

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Tabela 1 apresenta uma comparação do consumo energético médio mensal da embarcação do referido porto antes e depois da implementação do sistema de uso de *smart grids*. Observa-se uma redução de aproximadamente 28% no consumo, passando de 25.000 kWh para 18.000 kWh por mês.

A economia está relacionada à maior eficiência energética proporcionada pela adoção da tecnologia, aqui ainda na fase de testes de implantação, o que permite o monitoramento em tempo real da demanda, melhor gerenciamento da carga e uso racional dos recursos energéticos a bordo. A redução se deve, especificamente, à otimização na distribuição de carga, monitoramento em tempo real e maior eficiência nos sistemas de climatização e iluminação a bordo.

No tocante aos benefícios e a desafios da aplicabilidade das tecnologias *smart grids* no contexto do modal marítimo, podem ser evidenciados os seguintes construtos. Em primeiro lugar, as redes inteligentes promovem significativa eficiência energética ao reduzir as perdas na geração e distribuição de eletricidade e ajustar a carga conforme a demanda real dos equipamentos. Isso também permite aproveitar tarifas mais baixas em horários de menor consumo, o que contribui diretamente para a economia de custos com combustível e energia elétrica (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Na perspectiva reflexiva orientada à sustentabilidade, tecnologias *smart grids* facilitam a integração de fontes renováveis, bem como suscitar práticas em que as embarcações de médio e grande portes conectam-se à rede terrestre para manter os sistemas auxiliares desligados, reduzindo consideravelmente as emissões de gás carbônico e também outros poluentes atmosféricos na área portuária. Paralelamente, a instalação de sensores IoT e sistemas de armazenamento de energia (BESS) assegura a confiabilidade e a maior resiliência da rede elétrica interna, garantindo fornecimento ante às falhas externas ou a oscilações na rede pública (Gorges, 2021; Yoshiura *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023).

Outro ponto de destaque é a possibilidade de manutenção preditiva. Por meio da coleta contínua de dados em tempo real e aplicação de algoritmos de inteligência artificial (IA), torna-se viável antecipar falhas em equipamentos críticos (guindastes, geradores, sistemas de climatização), minimizando as paradas não programadas e prolongando tempo de vida útil dos ativos. Essa visibilidade e o controle centralizado oferecido por *Energy Management System* (EMS) proporcionam *dashboards* com os indicadores-chave, a exemplo do exposto nas figuras acima: consumo horário, além do nível de bateria, geração renovável e emissões, permitindo decisões mais rápidas e embasadas em análises de desempenho (Yoshiura *et al.*, 2022).

No entanto, a adoção das *smart grids* no setor marítimo não está incólume a desafios que perpassam este segmento. O alto investimento inicial necessário para

a aquisição de medidores inteligentes, sensores, de baterias de grande porte e de infraestrutura de comunicação pode ser um entrave, ainda mais para operações de menor escala. Além disso, a integração de sistemas heterogêneos (que envolvem os equipamentos de diferentes fabricantes e protocolos diversos) demanda um trabalho cuidadoso de padronização, automação e interoperabilidade (Gorges, 2021).

A segurança cibernética desponta-se, também, como outra preocupação ao setor. Isso porque conectividade expandida aumenta superfície de ataque, tornando relevante a adoção de *firewalls* consistentes, bem como redes privadas virtuais (VPNs) e políticas de autenticação rígidas. Ainda, no contexto de navios em alto mar, a conectividade via satélite ou rádio enfrenta limitações de latência e disponibilidade, o que torna crucial o uso de soluções de *Edge Computing* para processamento local de dados, que repercutem na eficiência energética (Cunha *et al.*, 2023).

A falta de normas e regulamentações específicas para tecnologias *smart grids* no modal marítimo brasileiro e a necessidade de capacitação técnica das equipes representam barreiras culturais e legais que demandam esforços de atualização de legislações e programas de treinamento. Superados esses entraves, porém, os benefícios (uma maior eficiência, redução de custos, robustez operacional e ganhos ambientais) indicam que as tecnologias têm o potencial de revolucionar o transporte marítimo, alinhando-o às metas globais de sustentabilidade e tornando o setor mais competitivo em um mercado cada vez mais exigente.

Em suma, a análise revela que, embora os desafios à adoção de *smart grids* no modal marítimo ainda sejam consideráveis, os ganhos operacionais, ambientais e estratégicos superam os obstáculos, tornando a tecnologia um vetor essencial para o futuro da navegação sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de tecnologias *smart grid* no modal marítimo apresenta-se como estratégia de vanguarda capaz de transformar expressivamente as operações portuárias e embarcadas. Ao integrar tecnologias de medição inteligente, sensores IoT, sistemas de gerenciamento energético e de fontes renováveis, torna-se viável otimizar o consumo, reduzir perdas e reduzir a emissão de poluentes atmosféricos, alinhando o setor aos compromissos globais de sustentabilidade.

A adoção de práticas aliadas ao emprego de baterias de grande porte e de algoritmos de inteligência artificial (IA), garante não só a economia de custos, mas também maior resiliência frente a instabilidades na rede pública ou comunicações de alto mar.

Todavia, o caminho para a automação e modernização energética no viés de embarcações de carga ainda demanda esforços significativos. O alto investimento inicial, a complexidade de integrar equipamentos heterogêneos e a necessidade de robustecer a segurança cibernética configuram desafios que exigem planejamento estratégico e as políticas de incentivo. Igualmente, a falta de normativas específicas para redes inteligentes no âmbito marítimo brasileiro e também a demanda por uma capacitação técnica das equipes sugerem a urgência de práticas integradas entre o setor privado e órgãos reguladores, por exemplo.

Por outro lado, identificaram-se desafios cruciais, como o elevado dispêndio inicial, a complexidade de interoperabilidade entre os equipamentos envolvidos, as exigências de segurança cibernética e as limitações de conectividade em alto mar, bem como a ausência de normas regulatórias e necessidade de qualificação técnica das equipes.

Sintetizando as considerações construídas ao longo deste estudo, ainda que existam grandes obstáculos, as *smart grids* subsidiam um modelo operacional mais eficiente, seguro e sustentável. Projetos-piloto em portos, a exemplo do Porto São Sebastião (SP), podem servir de laboratório para o desenvolvimento e de maturação tecnológica e refinamento de processos, pavimentando o caminho para uma adoção em larga escala.

Em suma, espera-se que esta pesquisa contribua para o aprofundamento do debate acadêmico e mais prático sobre a aplicabilidade de *smart grids* no transporte marítimo, inspirando novas iniciativas e estudos futuros que consolidem um modal mais eficiente, sustentável e competitivo no cenário nacional e internacional.

Nesse sentido, futuras pesquisas devem aprofundar os aspectos econômicos, legais e acerca da interoperabilidade, além de avaliar impactos sociais e ambientais a médio e longo prazo nesse segmento. Assim, será possível consolidar, pois, uma infraestrutura energética inteligente capaz de posicionar o modal marítimo brasileiro na fronteira da inovação e competitividade internacional.

REFERÊNCIAS

ABOBOREIRA, Felipe Luz; CRUZ, Antonia Ferreira dos Santos. A importância do Smart Grid no Brasil. **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, v. 15, 2024.

ATAIDE, Lucas, *et al.* Caminhos para smart grids: análise global do ponto de vista científico e intelectual. **Revista Espacios**, v. 42, n. 2, 2021.

CHAGAS, Gabriela Fuzetti, *et al.* A inclusão da tecnologia da Smart Grid para o desenvolvimento do Brasil. **Revista eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO–Vol**, v. 9, n. 1, 2020.

CONTE, Gerson Yuri Cagnani; ARAUJO, Geraldo Jose Ferraresi. Redes inteligentes na distribuição de eletricidade no Brasil: vantagens e potencialidades. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 1, p. 19-30, 2021.

GALLOTTI, Verônica Dias Moreira. Redes de energia elétrica inteligentes (Smart Grids). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. 23-49, 2021.

LINS, Felipe Henrique Ferreira; RODRIGUES, Sidney Aciole. Smart grids como alternativa para o combate às perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 5, p. 788-799, 2023.

LÓPEZ, Gustavo Adolfo, *et al.* Fuentes renovables no convencionales y redes inteligentes en Brasil y Chile (Non-Conventional Renewable Sources and Smart Grids in Brazil and Chile). **Available at SSRN 3524995**, 2019.

MARCONI, Marina Almeida; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. Atlas. São Paulo, 2003.

SANTOS, André Ricardo Silva. Implantação de Smart Grid no Brasil: possibilidades e limitações. **O Comunicante**, v. 9, n. 2, p. 19-28, 2024.

SOARES, Joyce Aristércia Siqueira; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. Planejamento energético no Brasil: a caminho de uma política energética de inserção da matriz nos moldes da sustentabilidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 637-662, 2020.

SOUZA, Carlos Matheus, *et al.* Gestão de sistemas de energia. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 5, n. 4, p. 135-147, 2019.

SOUZA, Petterson da Silva; DUARTE, João Paulo Bitterncourt. **Benefícios da utilização de rede inteligente no sistema de distribuição de energia elétrica**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 8, p. 582-593, 2022.

YOSHIURA, M. *et al.* **Tecnologias emergentes e evolução portuária: análise bibliométrica das inovações no setor**. Revista Inovação & Logística, v. 8, n. 4, p. 221-238, 2022.

YOSHIURA, M. et al. **Avanços tecnológicos em redes elétricas inteligentes e sua aplicação no transporte marítimo**. Revista de Engenharia Naval e Oceânica, v. 19, n. 4, p. 112–128, 2022.

SOUZA, R.; DUARTE, J. **Transformações tecnológicas no setor elétrico: o papel das smart grids e da inteligência artificial**. Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada, v. 10, n. 1, p. 91–105, 2022.