

# GESTÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS PÁTIO-PORTOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

## ENERGY MANAGEMENT OF YARD-PORT SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW

Jeidson Lamboghini Coradi<sup>1\*</sup>, Bruno Moreira<sup>2</sup>, Patrícia Alcantara Cardoso<sup>3</sup>, Marcos Wagner Jesus Servare Junior<sup>4</sup>,

<sup>1,2,3,4</sup> [Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil](http://www.ufes.br)

[jeidon.coradi@edu.ufes.br](mailto:jeidon.coradi@edu.ufes.br)<sup>1\*</sup>, [bruno.s.moreira@edu.ufes.br](mailto:bruno.s.moreira@edu.ufes.br)<sup>2</sup>, [patricia.caroso@ufes.br](mailto:patricia.caroso@ufes.br)<sup>3</sup>  
[marcos.servare@ufes.br](mailto:marcos.servare@ufes.br)<sup>4</sup>

\*Autor Correspondente: Jeidson, L. C.

**RESUMO:** A crescente demanda por eficiência energética nos sistemas logísticos, especialmente em ambientes portuários, impulsiona a necessidade de soluções operacionais mais eficazes. Diante disso, este trabalho apresenta uma revisão bibliométrica e sistêmica com foco na otimização energética no setor pátio-porto, com ênfase em abordagens operacionais baseadas em métodos heurísticos e metaheurísticos. A metodologia adotada foi o ProKnow-C, que orientou a seleção criteriosa da literatura por meio de buscas estruturadas nas bases Scopus e Web of Science, utilizando palavras-chave relacionadas à pesquisa operacional, técnicas de alocação e gestão portuária. Ao todo, 760 documentos foram analisados e filtrados, resultando em um portfólio final de 15 artigos alinhados ao escopo da pesquisa. Os resultados evidenciam a predominância de algoritmos como os genéticos, colônia de abelhas e busca adaptativa por vizinhança, apontando tendências relevantes e lacunas ainda pouco exploradas na gestão energética de sistemas pátio-portos

**PALAVRAS CHAVE:** Otimização energética; Otimização operacional; Proknow-C.

**ABSTRACT:** The growing demand for energy efficiency in logistics systems, especially in port environments, drives the need for more effective operational solutions. In this context, this study presents a bibliometric and systematic review focused on energy optimization in yard-port systems, with an emphasis on operational approaches based on heuristic and metaheuristic methods. The methodology adopted was ProKnow-C, which guided the careful selection of the literature through structured searches in the Scopus and Web of Science databases, using keywords related to operations research, allocation techniques, and port management. A total of 760 documents were analyzed and filtered, resulting in a final portfolio of 15 articles aligned with the research scope. The findings highlight the predominance of algorithms such as genetic algorithms, artificial bee colony, and adaptive large neighborhood search, indicating relevant trends and still underexplored gaps in the energy management of yard-port systems.

**KEYWORDS:** Energy optimization; Operational optimization; Proknow-C.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema portuário desempenha um papel estratégico na logística global, sendo responsável por grande parte da movimentação de cargas em escala internacional. Com o avanço da globalização e a intensificação do comércio entre países, cresce também a necessidade de operações portuárias mais eficientes, sustentáveis e competitivas, especialmente no que se refere ao consumo energético e à utilização racional dos recursos operacionais (UNCTAD, 2023; Acciario, Ghiara & Cusano, 2014).

Paralelamente, a transformação digital vem modificando significativamente as operações portuárias por meio da integração entre tecnologias da informação, automação, sensores e sistemas inteligentes de apoio à decisão. Heilig, Schwarze e Voß (2017) destacam que essa evolução tem impulsionado o desenvolvimento dos chamados smart ports, nos quais a utilização de dados em tempo real contribui para ampliar a eficiência operacional, a coordenação logística e a sustentabilidade das operações.

Nesse ambiente altamente dinâmico, o planejamento energético assume papel essencial, considerando a elevada intensidade operacional dos equipamentos utilizados, os altos custos associados à energia e a necessidade de garantir maior eficiência logística. A gestão adequada dos recursos energéticos possibilita alinhar a demanda operacional à disponibilidade energética, reduzir desperdícios, minimizar sobrecargas e avaliar diferentes cenários operacionais e tarifários, contribuindo para decisões mais resilientes e tecnicamente fundamentadas (Acciario, 2015; Iris e Lam, 2018).

Essa problemática torna-se ainda mais relevante no contexto dos sistemas pátio-porto, cuja operação envolve elevada complexidade e forte interdependência entre processos logísticos e energéticos. Diferentemente de abordagens voltadas exclusivamente a operações portuárias isoladas ou terminais de contêineres, o sistema pátio-porto exige a integração simultânea entre armazenamento, movimentação e embarque de cargas, além da coordenação de múltiplos equipamentos consumidores de energia ao longo da cadeia operacional. Assim, decisões relacionadas ao fluxo de materiais influenciam diretamente o comportamento energético do sistema.

Sob essa perspectiva, o planejamento energético otimizado torna-se fundamental para alinhar a demanda energética à programação operacional, evitando ineficiências, picos de consumo e utilização inadequada dos recursos disponíveis. Além disso, a aplicação de métodos de otimização permite definir estratégias mais eficientes de alocação de recursos energéticos e avaliar diferentes cenários operacionais e tarifários, promovendo decisões mais consistentes sob os pontos de

vista técnico, econômico e operacional.

A literatura científica apresenta diferentes abordagens para apoiar o planejamento energético em operações portuárias, com destaque para modelos de otimização voltados à minimização de custos energéticos, redução do consumo, melhoria da eficiência operacional e integração entre logística e sistemas energéticos. Esses modelos incluem técnicas de programação matemática, heurísticas, metaheurísticas e modelos híbridos aplicados a diferentes configurações operacionais portuárias (Carlo, Vis & Roodbergen, 2014; Bierwirth, Meisel & Wichmann, 2012).

Apesar do crescimento das pesquisas relacionadas à eficiência energética portuária, grande parte dos estudos concentra-se em problemas específicos de agendamento operacional, automação de equipamentos ou gestão energética em terminais de contêineres. Ainda são limitadas as revisões voltadas especificamente à integração entre planejamento energético e sistemas pátio-porto sob a perspectiva de modelos de otimização operacional. Além disso, diversos desafios dificultam a implementação efetiva dessas abordagens, como a variabilidade das condições operacionais, a necessidade de integração entre sistemas logísticos e energéticos, a dificuldade de previsão da demanda energética em função da dinâmica de movimentação de cargas e as restrições impostas por tarifas complexas e janelas operacionais limitadas. Soma-se a isso a carência de validação prática de muitos modelos desenvolvidos, o que reduz sua aplicabilidade em ambientes reais (Wagner et al., 2019).

Considerando essas lacunas, esta revisão bibliográfica e sistemática tem como objetivo identificar, organizar e analisar os principais estudos relacionados ao planejamento energético em portos e sistemas pátio-porto por meio de modelos de otimização. Para isso, foi utilizada a metodologia ProKnow-C, que permite a construção estruturada de um portfólio bibliográfico representativo e alinhado ao escopo da pesquisa.

Embora o foco principal deste trabalho esteja voltado ao sistema pátio-porto, o portfólio bibliográfico selecionado contempla diferentes configurações operacionais portuárias, permitindo uma análise mais ampla das abordagens de otimização energética aplicadas ao setor. Assim, esta revisão busca contribuir para a consolidação do estado da arte, identificando tendências metodológicas, lacunas científicas e oportunidades para futuras pesquisas relacionadas à integração entre logística portuária, transformação digital e gestão energética.

## 2. METODOLOGIA

O presente estudo utiliza como abordagem metodológica o ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist), proposto por Ensslin et al. (2010), que consiste em um processo estruturado para construção do conhecimento científico por meio da seleção criteriosa de artigos alinhados ao objetivo da pesquisa. O método ProKnow-C é composto por quatro etapas:

- i. Seleção do portfólio bibliográfico, com foco em relevância e aderência ao tema;
- ii. Representatividade bibliométrica, com análise de autores, periódicos e citações;
- iii. Análise do conteúdo dos artigos selecionados, avaliando aspectos metodológicos e conceituais;
- iv. Identificação de lacunas e oportunidades para futuras pesquisas.

Essa abordagem ajuda na construção do portfólio teórico da pesquisa, que fornece rastreamento, transparência e validade metodológica no assunto discutido.

## 2.1 BASE DE DADOS

Os bancos de dados Scopus e Web of Science foram utilizados como fontes primárias para a seleção dos artigos científicos, devido à sua ampla cobertura de periódicos internacionais e elevada relevância nas áreas de engenharia, logística, pesquisa operacional e gestão energética.

A estratégia de busca foi elaborada com o objetivo de identificar estudos relacionados à otimização energética em ambientes portuários e sistemas pátio-porto, com ênfase em abordagens heurísticas, técnicas de alocação e métodos de otimização operacional. Para isso, foi utilizada a seguinte cadeia de busca, construída por meio da combinação de operadores booleanos e agrupamentos lógicos:

*("heuristic" OR "allocation") AND ("energy efficiency" OR "energy optimization") AND ("yard" OR "port")*

Os termos *"energy efficiency"* e *"energy optimization"* foram selecionados por representarem descritores amplamente associados ao planejamento e à gestão energética em sistemas logísticos. Já os termos *"yard"* e *"port"* permitiram restringir os resultados ao contexto portuário e pátio-portuário. Por sua vez, os termos *"heuristic"* e *"allocation"* foram empregados por sua recorrência em estudos relacionados à otimização operacional, alocação de recursos e agendamento de equipamentos em ambientes portuários.

Ainda assim, reconhece-se que diferentes combinações de palavras-chave poderiam resultar em portfólios distintos, o que constitui uma limitação inerente às revisões bibliográficas e bibliométricas.

No *Web of Science*, a busca foi aplicada na função "Tópico", abrangendo título, resumo, palavras-chave e *Keywords Plus*. Na Scopus, a pesquisa foi realizada nos campos de título, resumo e palavras-chave. Em ambas as bases, restringiu-se o intervalo temporal entre 2010 e a data da coleta, considerando o crescimento recente das pesquisas relacionadas à eficiência energética e otimização em sistemas portuários.

De forma complementar, na base Scopus, foi aplicado um filtro para considerar apenas publicações relacionadas às áreas de pesquisa operacional, engenharia de produção e engenharia de computação, visando assegurar maior aderência temática ao escopo da pesquisa.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos revisados por

pares, publicados em inglês e diretamente relacionados à otimização energética, gestão operacional portuária ou sistemas pátio-porto. Foram excluídos trabalhos duplicados, documentos sem alinhamento temático identificado a partir da leitura dos títulos e resumos, além de editoriais, capítulos de livro, notas técnicas e trabalhos sem texto completo disponível.

Ao final da etapa de coleta, foram obtidos inicialmente 558 documentos na Web of Science e 202 documentos na Scopus, exportados no formato BibTeX para posterior processamento bibliométrico

## 2.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram considerados artigos científicos publicados entre 2010 e 2025, redigidos em inglês e indexados nas bases Scopus e Web of Science. A seleção priorizou estudos revisados por pares relacionados à otimização energética, gestão operacional portuária, sistemas pátio-porto, alocação de recursos e métodos heurísticos ou metaheurísticos aplicados ao contexto logístico-portuário. Foram excluídos: trabalhos duplicados, artigos sem alinhamento temático identificado a partir da leitura do título e resumo, estudos exclusivamente conceituais sem abordagem operacional; documentos como editoriais, capítulos de livro, notas técnicas e resumos sem texto completo disponível e trabalhos sem aderência ao escopo energético ou de otimização operacional.

A adoção desses critérios buscou garantir maior consistência metodológica, alinhamento temático e aderência científica ao portfólio bibliográfico final.

## 2.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o processamento dos dados bibliográficos, foi utilizado o ambiente RStudio Cloud, que permite a execução de scripts em linguagem R diretamente no navegador, sem a necessidade de instalação local. O principal pacote utilizado foi o *bibliometrix*, uma ferramenta open-source amplamente adotada para análise bibliométrica e mapeamento científico (Aria et al., 2017).

Os arquivos exportados das bases *Scopus* e *Web of Science* no formato *.bibtext* foram importados por meio das funções *convert2df()* e combinados com *mergeDbSources()*, garantindo a eliminação de duplicatas. A análise estatística foi conduzida com *biblioAnalysis()* e os dados foram visualizados com a interface gráfica *biblioshiny()*. Os resultados foram exportados em *.csv* para posterior organização e análise sistêmica.

A escolha dessas ferramentas se deu por sua eficiência na organização de grandes volumes de dados, reprodutibilidade e ampla aceitação na literatura acadêmica.

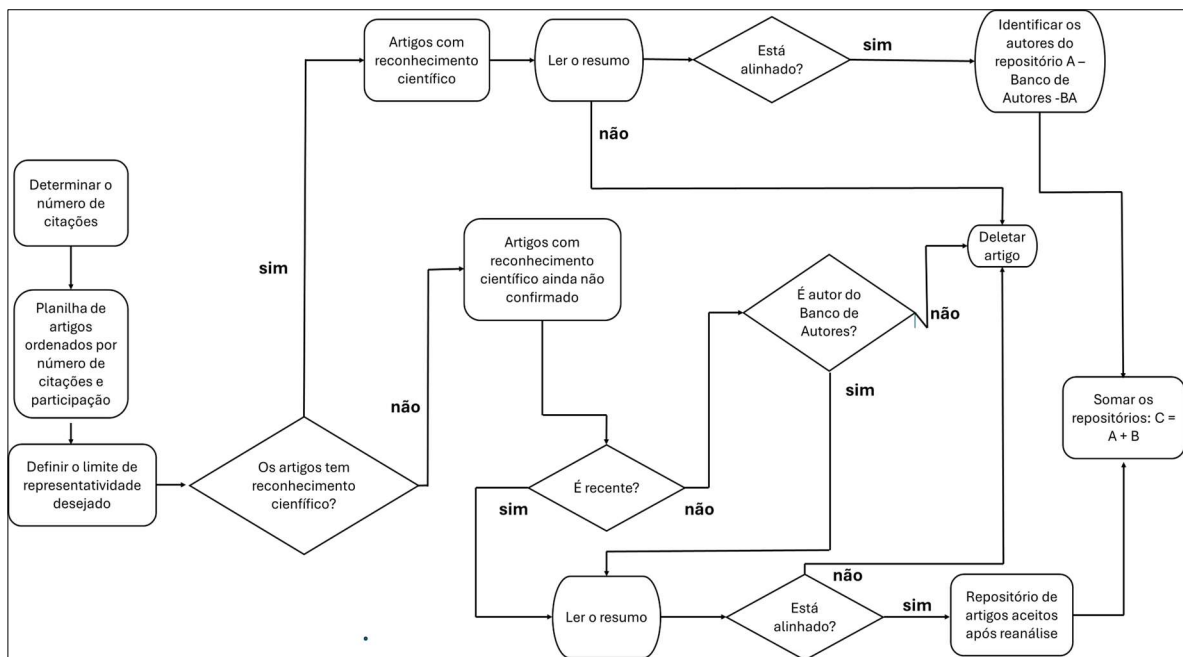
## 2.4 PORTFÓLIO

A construção do portfólio bibliográfico seguiu as diretrizes do método ProKnow-C, sendo estruturada em etapas sequenciais de filtragem e análise com o objetivo de garantir alinhamento temático e relevância científica aos trabalhos selecionados.

Inicialmente, os documentos obtidos nas bases Scopus e Web of Science passaram por um processo de eliminação de duplicatas. Em seguida, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, buscando identificar estudos relacionados à otimização energética, gestão operacional portuária, sistemas pátio-porto e aplicações de métodos heurísticos, metaheurísticos ou modelos de otimização no contexto logístico-portuário.

O processo de construção do portfólio foi dividido em três etapas complementares e a Figura XXXX demonstra um fluxograma que evidencia a construção desse portfólio.

Figure 1 - Fluxograma do processo de construção do portfólio bibliográfico utilizando o método ProKnow-C



Fonte: Adaptado de Ensslin et al. (2010)

Etapa 1 – A primeira etapa consistiu na identificação maior reconhecimento científico dentro do conjunto foi utilizado um critério de representatividade baseado em acumuladas, empregado como mecanismo operacional para denominado Banco de Autores.

Esse procedimento teve como objetivo priorizar impacto científico e recorrência temática na área investigada, os autores e trabalhos mais relevantes relacionados à

dos trabalhos com analisado. Para isso, 80% das citações compor o

estudos com maior permitindo identificar otimização energética

em sistemas portuários. O uso da lógica baseada no Princípio de Pareto (80/20) em processos fundamentados no método ProKnow-C também pode ser observado em outros estudos de revisão bibliográfica, como apresentado por Silva et al. (2026). Embora o percentual de 80% não represente uma regra universal em revisões bibliométricas, sua utilização mostrou-se adequada para reduzir dispersões excessivas e garantir maior consistência na composição do portfólio bibliográfico. Além do número de citações, os artigos selecionados nessa etapa também foram avaliados quanto ao alinhamento temático de seus resumos com os objetivos da pesquisa.

Etapa 2 – Produções recentes: os trabalhos que não compuseram o repositório anterior, ou seja, que não obtiveram confirmação científica, foram reanalisados para verificar sua data de publicação. Caso tivessem sido publicados há, no mínimo, dois anos, seus resumos foram avaliados quanto ao alinhamento com o escopo da pesquisa. Para os trabalhos mais antigos, analisou-se se seus autores pertenciam ao Banco de Autores; se confirmada essa vinculação, seus resumos também foram examinados quanto à afinidade temática. Ao final desse processo, constituiu-se o segundo repositório.

Etapa 3 – Portfólio: o portfólio usado como base dessa revisão bibliográfica é formado pela soma das produções científicas do primeiro e segundo repositório.

A proposta desta revisão não consiste na obtenção de um grande volume de documentos, mas sim na construção de um conjunto bibliográfico alinhado ao objetivo da pesquisa e capaz de permitir uma análise sistêmica e comparativa. Nesse contexto, o método ProKnow-C prioriza a relevância científica, o alinhamento temático e a consistência analítica dos estudos selecionados, em detrimento da quantidade absoluta de publicações. Além disso, destaca-se que pesquisas relacionadas especificamente à integração entre otimização energética e sistemas pálio-porto ainda representam um nicho relativamente recente e pouco explorado na literatura científica.

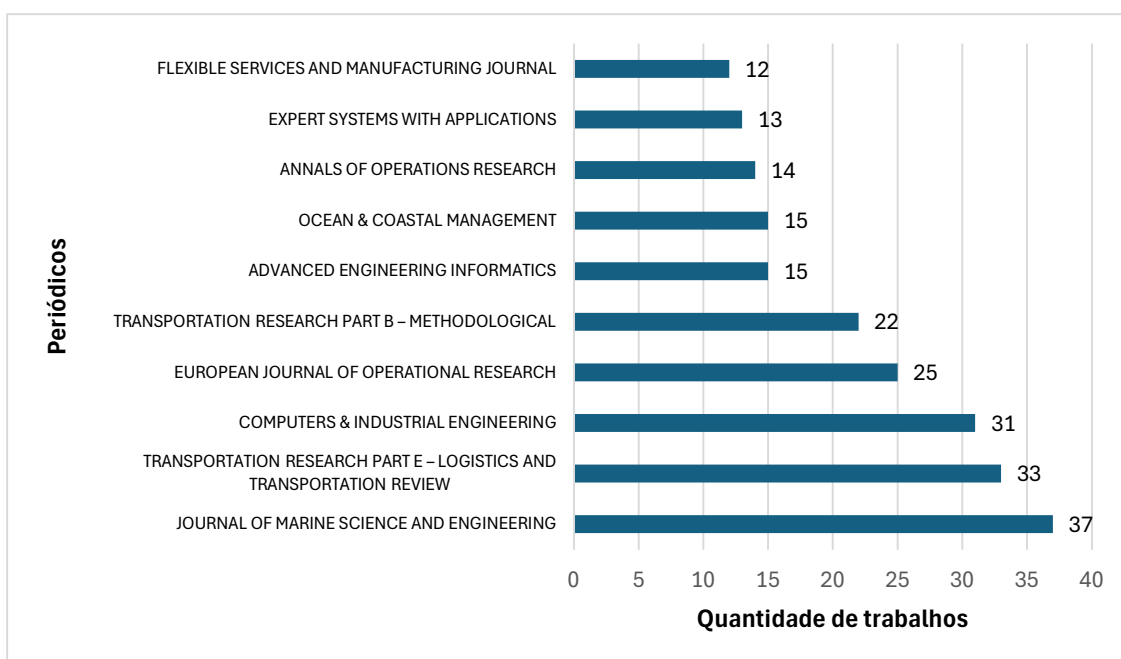
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados compreendem, inicialmente, uma análise preliminar dos trabalhos brutos extraídos das bases de dados, com o objetivo de identificar informações relevantes sobre o comportamento da produção científica na área estudada. Em seguida, realiza-se uma análise estruturada com base nos critérios definidos na metodologia, resultando na construção do portfólio bibliográfico. A partir desse portfólio, são conduzidas uma análise específica dos artigos selecionados e, posteriormente, uma análise sistêmica, com foco no conteúdo e nas contribuições de cada estudo para o tema da pesquisa.

### 3.1 PRINCIPAIS PERIÓDICOS IDENTIFICADOS NA BASE BRUTA DE DADOS

Foram identificadas 740 produções científicas provenientes das bases de dados. O Gráfico 1 apresenta os periódicos mais relevantes relacionados à temática de otimização energética, com base na frequência de ocorrência dos trabalhos na amostra inicial. A comparação entre os periódicos mais recorrentes na base bruta e os presentes no portfólio final permite avaliar a consistência da seleção, identificar possíveis vieses e entender a concentração da produção científica. Essa comparação também ajuda a verificar a relevância e o alinhamento temático dos periódicos incluídos na análise.

**Gráfico 1** – Periódicos mais relevantes na base bruta



Fonte : Autoria Própria (2025)

### 3.2 CONSTRUÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Com base nos critérios apresentados na subseção do portfólio, o Gráfico 2 ilustra o desdobramento da quantidade de artigos até a obtenção do portfólio final. A Tabela 1 apresenta os trabalhos alinhados ao escopo desta revisão, selecionados após uma análise criteriosa em cada etapa do processo. Inicialmente, foram extraídos 760 trabalhos das bases de dados, reduzidos para 740 após a eliminação de duplicatas. A partir dessa base, 56 títulos resumos estavam alinhados ao contexto, então foi estruturado o Repositório – Banco de Autores, contendo 8 artigos equivalentes a 80% das citações totais

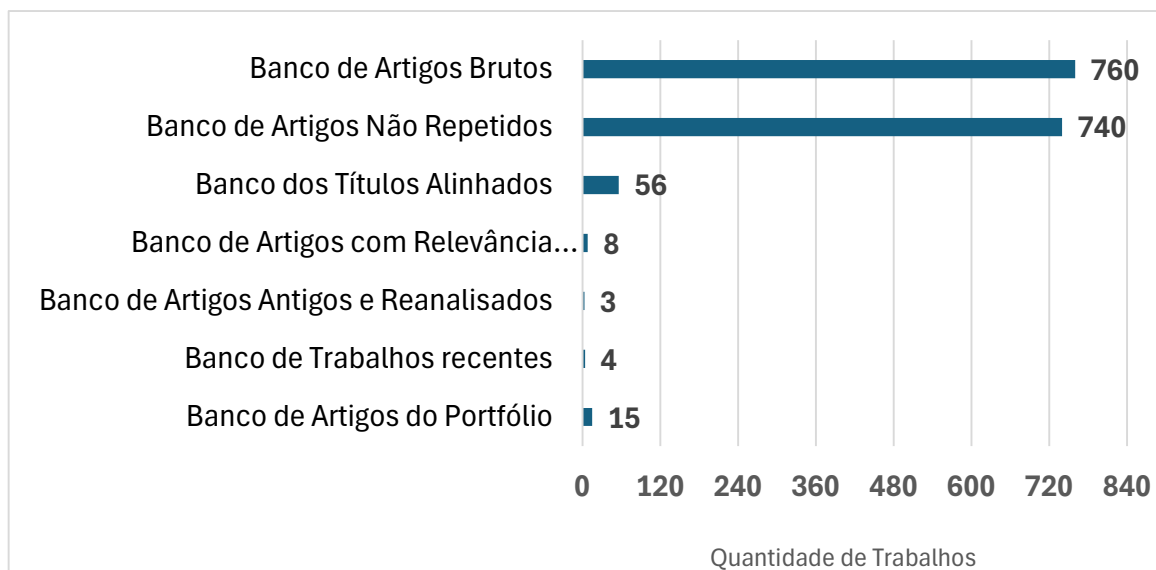
(reconhecimento científico). Em seguida, os trabalhos publicados nos últimos dois anos foram avaliados, totalizando 4 artigos, que foram analisados por meio da leitura dos resumos. Já os artigos mais antigos, mas com autores pertencentes ao Repositório – Bandos de Autores, resultaram em 3 documentos. O repositório final contém 15 artigos que demonstraram alinhamento direto com os objetivos da pesquisa, compondo assim o portfólio final.

**Tabela 1 – Portfólio**

Item	Autores	Título	Citações	Ano	Periódicos
1	He et al. (2015a)	Yard crane scheduling in a container terminal for the trade-off between efficiency and energy consumption	169	2015	Advanced Engineering Informatics
2	He et al. (2015b)	Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption	219	2015	Expert Systems With Applications
3	Yang; Zhu; Haghani, (2019)	Multiple equipment integrated scheduling and storage space allocation in rail–water intermodal container terminals considering energy efficiency	38	2019	Transportation Research Record
4	Iris e Lam (2021)	Optimal energy management and operations planning in seaports with smart grid while harnessing renewable energy under uncertainty	135	2021	Omega-International Journal Of Management Science
5	Zhang et al. (2022)	Optimal port microgrid scheduling incorporating onshore power supply and berth allocation under uncertainty	62	2022	Applied Energy
6	Wang; Zhu, (2019)	Container loading optimization in rail-truck intermodal terminals considering energy consumption	29	2019	Sustainability
7	Li et al.(2022)	Multiobjective scheduling for cooperative operation of multiple gantry cranes in railway area of container terminal	7	2022	Ieee Access
8	Hong et al. (2023)	The integrated scheduling optimization for container handling by using driverless electric truck in automated container terminal	16	2023	Sustainability
9	Zhong et al. (2023)	Energy-aware integrated scheduling for container terminals with conflict-free agvs	13	2023	Journal Of Systems Science And Systems Engineering
10	Li et al. (2023)	A decomposition-based optimization method for integrated vehicle charging and operation scheduling in automated container terminals under fast charging technology	13	2023	Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review
11	Li (2023)	A heuristic algorithm for equipment scheduling at an automated container terminal with multi-size containers	3	2023	Archives Of Transport
12	Cai et al. (2024)	Incorporation of energy-consumption optimization into multi-objective and robust port multi-equipment integrated scheduling	6	2024	Transportation Research Part C-Emerging Technologies
13	Wang et al. (2024)	Integrated energy management and operations planning in oil-electric hybrid container terminals considering multi-energy supply	4	2024	Advanced Engineering Informatics

14	Zhen et al. (2024)	Integrated planning model for two-story container ports	3	2024	Transportation Research Part C- Emerging Technologies
15	Servare Junior; Rocha; Salles, (2024)	A smart energy scheduling under uncertainties of an iron ore stockyard-port system using a rolling horizon algorithm	0	2024	Computers & Operations Research

**Gráfico 2 - Desdobramentos da filtragem**



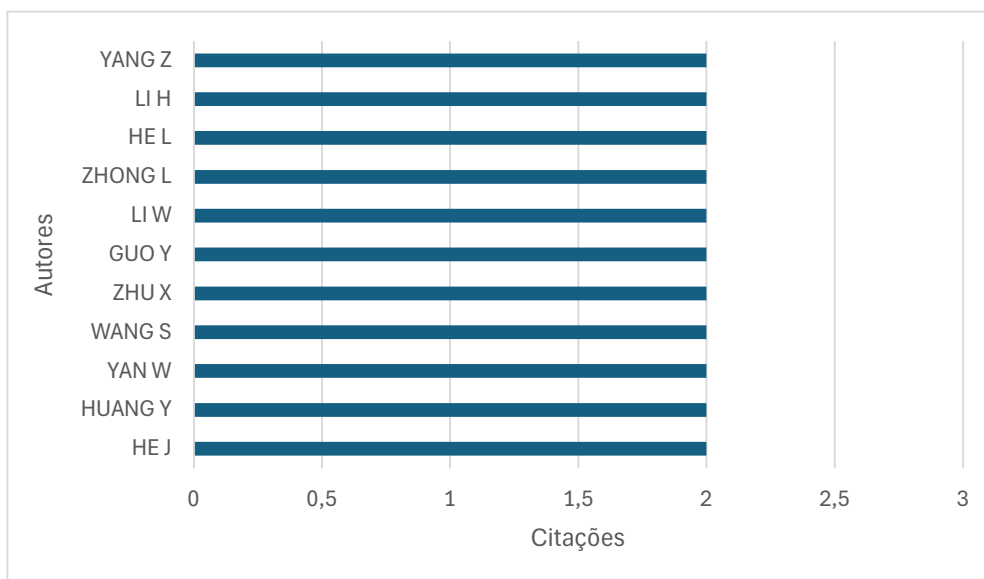
**Fonte :** Autoria Própria (2025)

### 3.3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PORTFÓLIO

Ao comparar os periódicos mais relevantes das produções brutas, foi identificado apenas um periódico semelhante ao que é constatado no portfólio final: *Expert System With Applications*

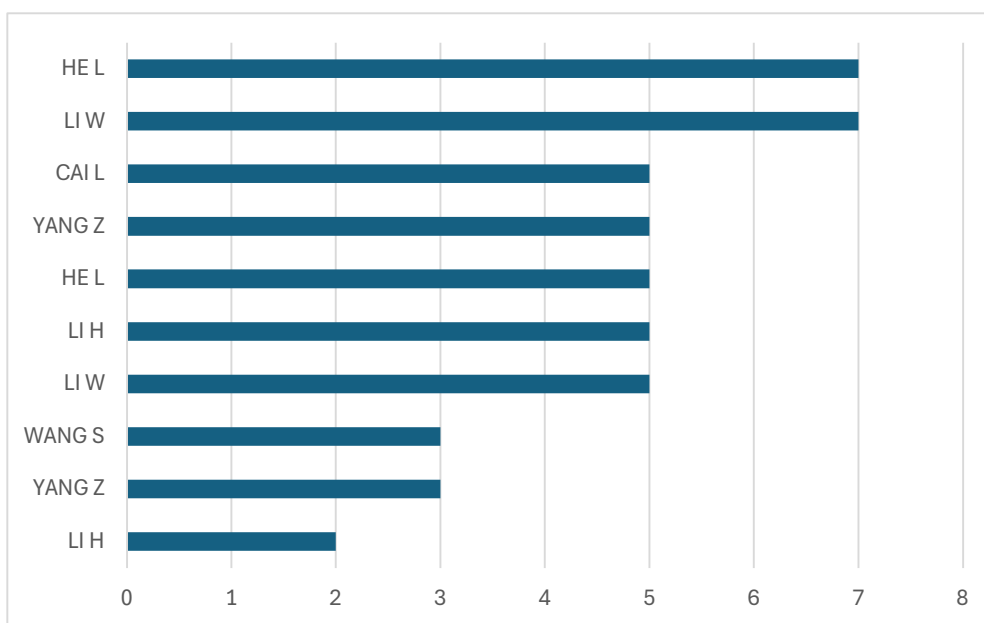
No Gráfico 3, são destacados os autores mais relevantes com base nas citações recebidas por outros trabalhos do próprio repositório final. Todos os autores mencionados foram referenciados duas vezes dentro desse conjunto. Já o Gráfico 4 evidencia os autores com maior relevância científica baseado na média de citações por ano. Nessa análise, Li W e He L se destacaram como os autores mais influentes.

**Gráfico 3 - Relevância no portfólio**



**Fonte :** Autoria própria (2025)

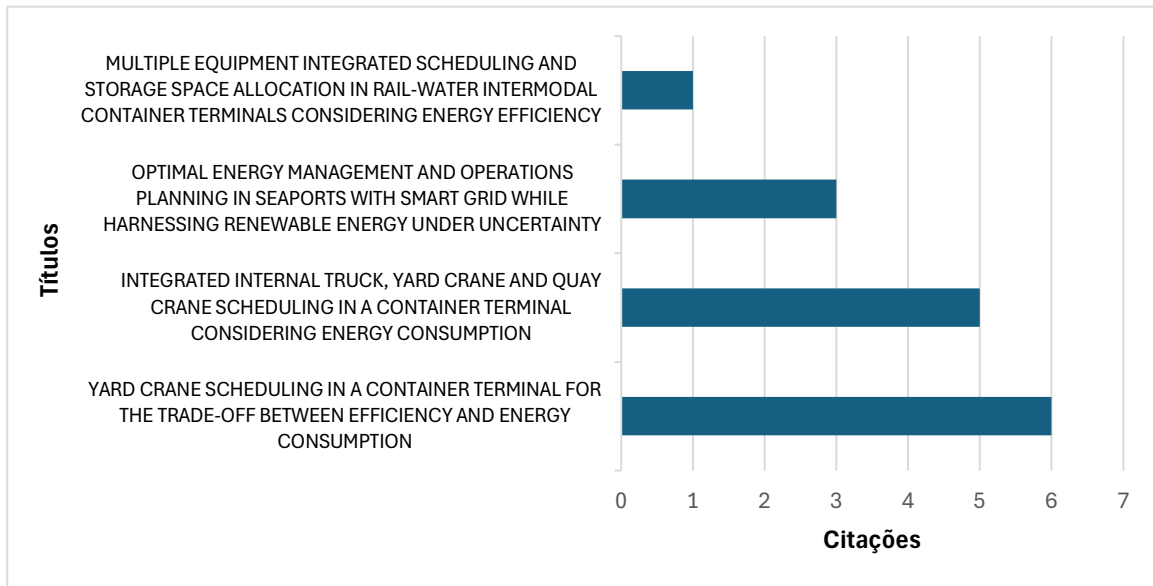
**Gráfico 4 - Relevância nos dados brutos**



**Fonte :** Autoria própria (2025)

Também foi realizada uma análise para identificar os trabalhos mais relevantes, considerando não apenas o número total de citações apresentado na Figura 1, mas também se esses mesmos trabalhos são significativamente citados dentro do próprio repositório final. Verificou-se que há correspondência, e o Gráfico 5 apresenta os trabalhos mais citados pelos demais artigos que compõem o portfólio.

**Gráfico 5 - Trabalhos mais relevantes**

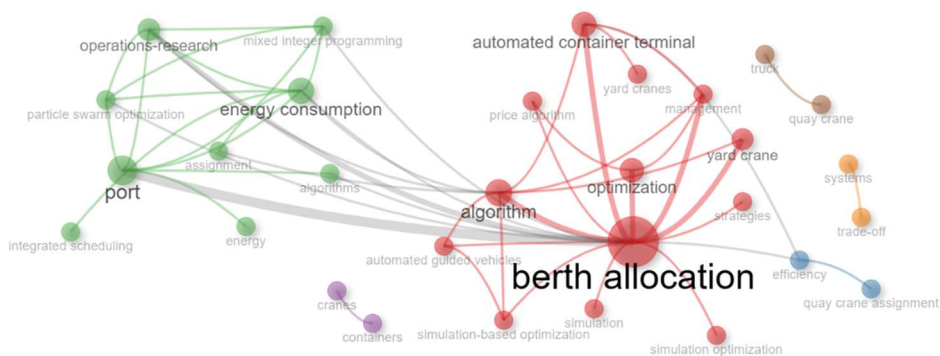


Fonte : Autoria própria (2025)

Então percebe-se que os trabalhos de He et al. (2015a) e He et al. (2015b) são os mais citados dentro do próprio portfólio, corroborando o escopo do tema dos trabalhos que caracterizam essa revisão.

A Figura 2 representa um mapa de coocorrência de palavras-chave, que nos permite analisar as palavras-chave em destaque, quais os termos que frequentemente aparecem juntos nos trabalhos científicos, a indicação de subtemas de pesquisas, pontes entre áreas distintas e lacunas.

**Figura 2 – Mapa de coocorrência de palavras**



Fonte : Gerada no software R com o pacote Bibliometrix (Aria e Cuccurullo, 2017).

Embora o nó central do mapa evidencie “*berth allocation*” como o termo de maior destaque, observa-se que o “*energy consumption*” também está fortemente relacionado a esse tema. No entanto, ele se subdivide em um grupo associado tanto a produções voltadas à operação portuária quanto àquelas focadas em modelagem matemática.

Essa configuração indica uma integração entre as práticas operacionais dos portos, como o uso de equipamentos consumidores de energia, e abordagens analíticas baseadas em técnicas de otimização e simulação, destacando a energia como uma variável estratégica nos estudos logísticos.

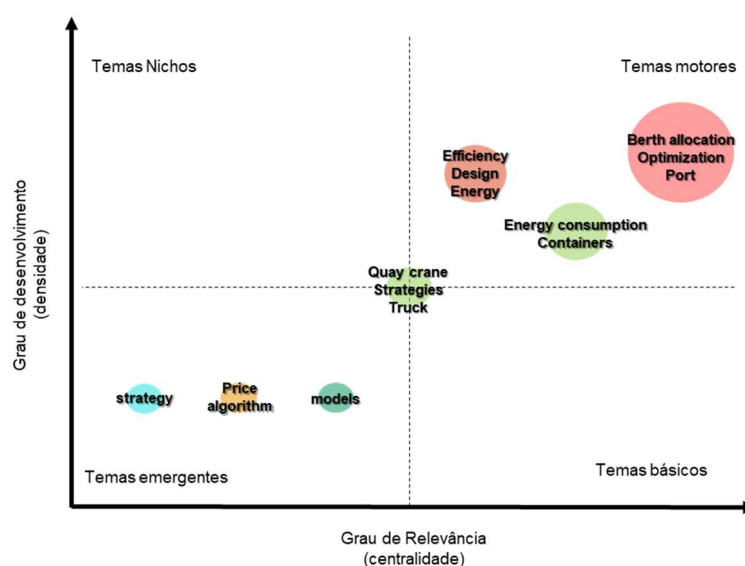
A presença de *clusters* isolados no mapa se deve à baixa frequência de coocorrência desses termos com os tópicos centrais do corpus analisado. Termos como “*truck – quay crane*” e “*systems – trade-off*” aparecem em contextos mais específicos ou operacionais, o que os mantém afastados de temas amplamente discutidos, como os dos nós principais. Esses agrupamentos indicam subtemas menos integrados à linha dominante de pesquisa, mas que podem representar potenciais áreas para exploração futura.

Para complementar esse mapa, a Figura 3 mostra um Mapa Temático, que organiza os temas com base em dois critérios: centralidade e densidade.

A centralidade mostra o quanto um tema é relevante e conectado a outros tópicos da área, ou seja, sua importância dentro do campo de pesquisa. Já a densidade indica o quanto esse tema está desenvolvido internamente, com conceitos bem estruturados e consolidados.

A partir desses dois critérios, os temas são classificados em quatro grupos: temas motores (centrais e bem desenvolvidos), temas básicos (centrais, mas ainda pouco aprofundados), temas de nicho (muito desenvolvidos, mas com pouca conexão com o restante do campo) e temas emergentes ou em declínio (com pouca relevância ou desenvolvimento). Essa classificação ajuda a entender quais temas já são bem estabelecidos e quais ainda têm potencial para serem explorados em pesquisas futuras.

Figura 3 – Mapa Temático



A análise do mapa temático evidencia que os temas motores estão alinhados com os objetivos deste trabalho e com o portfólio de publicações analisado. Esses temas apresentam alta centralidade e densidade, o que indica que são pilares conceituais do campo estudado, por serem ao mesmo tempo relevantes e bem desenvolvidos. Por outro lado, o grupo de temas emergentes reúne tópicos inovadores que ainda se encontram em estágio inicial de desenvolvimento, mas que apresentam potencial para se tornarem centrais no futuro. No entanto, também é possível que representem temas em declínio, cuja relevância tem diminuído ao longo do tempo. A distinção entre essas duas interpretações depende de uma análise temporal da produção científica e da evolução no volume de estudos relacionados.

Dentro dos temas emergentes, destaca-se o termo “models”, possivelmente relacionado a modelos matemáticos, o que sugere uma tendência de crescimento e uma oportunidade de maior integração com os tópicos centrais do campo de pesquisa

#### 4. ANÁLISE SISTÊMICA E COMPARATIVA DA LITERATURA

Após a construção do portfólio bibliográfico, realizou-se uma análise sistêmica e comparativa dos artigos selecionados, com o objetivo de identificar padrões, tendências, convergências, limitações e lacunas relacionadas à otimização energética em ambientes portuários. Diferentemente de uma análise puramente descritiva, esta seção busca discutir criticamente os principais enfoques adotados pela literatura, considerando aspectos como contexto portuário, tipo de problema abordado, métodos de otimização empregados, integração entre operação e energia, sustentabilidade e complexidade computacional dos modelos. A Tabela 2 foi elaborada a partir da análise sistêmica dos 15 artigos que compõem o portfólio bibliográfico selecionado pelo método ProKnow-C. A estrutura da matriz comparativa foi definida com o objetivo de padronizar as principais dimensões de análise identificadas nos estudos, permitindo a realização de comparações entre os trabalhos e a identificação de tendências, convergências e lacunas da literatura.

Para isso, cada artigo foi analisado individualmente a partir da leitura de seus objetivos, formulações matemáticas, métodos de solução, características operacionais e abordagens energéticas. Com base nessa análise, foram estabelecidas as seguintes dimensões comparativas:

- Contexto: identifica o ambiente operacional estudado, como terminais de contêineres, terminais intermodais, microgrids portuários ou sistemas pátio-porto;
- Problema: descreve o principal problema abordado pelo artigo, como programação integrada de equipamentos, alocação de berços, planejamento energético ou programação operacional;
- Método: apresenta os modelos matemáticos e algoritmos empregados, incluindo Programação Inteira Mista, Programação Linear Inteira Mista, Programação Não Linear Inteira Mista, heurísticas e metaheurísticas;
- Equipamentos: indica os principais recursos operacionais considerados nos modelos;

- Energia: evidencia a forma como o consumo ou gerenciamento energético foi tratado em cada estudo;
- Resultados: sintetiza os principais benefícios ou melhorias obtidas pelos autores; portfólio frente a diferentes características.

A utilização dessas dimensões padronizadas permitiu transformar a análise da literatura de uma abordagem predominantemente descritiva para uma análise comparativa e analítica, possibilitando identificar padrões metodológicos, evolução das abordagens energéticas e limitações recorrentes nos estudos analisados. Além disso, a matriz contribui para evidenciar a predominância de pesquisas aplicadas a terminais de contêineres e a menor quantidade de estudos voltados a sistemas pátio-porto de grãos sólidos e planejamento energético integrado.

Tabela 2 – Características do Portfólio

(continua)

Item	Autor	Contexto	Problema	Método
1	He et al. (2015a)	Terminal de contêineres	Programação integrada de equipamentos	Programação Inteira Mista + Algoritmo Genético/Otimização por Enxame de Partículas
2	He et al. (2015b)	Terminal de contêineres	Programação de guindastes de pátio	Programação Inteira Mista + Algoritmo Genético/Otimização por Enxame de Partículas
3	Yang et al. (2019)	Terminal intermodal	Programação integrada e alocação de espaço	Algoritmo Genético
4	Wang e Zhu (2019)	Terminal intermodal	Otimização de carregamento	Algoritmo Genético
5	Iris e Lam (2021)	Porto com microgrid	Planejamento operacional e energético	Programação Linear Inteira Mista
6	Li et al. (2022)	Terminal intermodal	Operação cooperativa de guindastes	Programação Inteira Mista + Artificial Bee Colony
7	Zhang et al. (2022)	Microgrid portuário	Planejamento OPS e alocação de berços	Programação Linear Inteira Mista estocástica
8	Hong et al. (2023)	Terminal automatizado	Programação integrada de equipamentos	Modelo matemático integrado
9	Zhong et al. (2023)	Terminal automatizado	Programação de AGVs sem conflito	Programação Inteira Mista + Algoritmo Genético Bi-level
10	Li et al. (2023)	Terminal automatizado	Programação operacional e recarga	Programação Inteira Mista + decomposição
11	Li (2023)	Terminal automatizado	Operação com contêineres de múltiplos tamanhos	Programação Inteira Mista + Algoritmo Genético

12	Cai et al. (2024)	Porto em formato U	Programação robusta de equipamentos	Programação Inteira Mista + NSGA-II
13	Wang et al. (2024)	Terminal híbrido óleo-elétrico	Planejamento operacional e energético	Programação Linear Inteira Mista + ALNS/Gurobi
14	Zhen et al. (2024)	Porto de dois andares	Planejamento de berços e pátio	Programação Linear Inteira Mista estocástica
15	Servare et al. (2024)	Sistema pátio-porto de minério	Planejamento energético integrado	Programação Linear/Não Linear Inteira Mista + Rolling Horizon

Tabela 2 – Características do Porfólio

(continuação)

Item	Autor	Equipamentos	Energia	Resultados
1	He et al. (2015a)	Guindastes de cais, veículos internos e guindastes de pátio	Consumo energético operacional	Redução de atrasos e consumo energético
2	He et al. (2015b)	Guindastes de pátio sobre pneus	Energia de operação, espera e deslocamento	Relação entre eficiência operacional e consumo energético
3	Yang et al. (2019)	Guindastes ferroviários, veículos automatizados e guindastes de pátio	Energia elétrica e diesel	Redução do tempo operacional e do consumo energético
4	Wang e Zhu (2019)	Guindastes ferroviários	Energia de deslocamento e remanejamento	Redução do consumo energético
5	Iris e Lam (2021)	Guindastes de cais, guindastes de pátio, contêineres refrigerados e OPS	Rede elétrica, energia fotovoltaica e armazenamento energético	Redução de custos operacionais
6	Li et al. (2022)	Guindastes e caminhões	Energia dos equipamentos	Redução do makespan e do consumo energético
7	Zhang et al. (2022)	Berços, guindastes de cais e guindastes de pátio	OPS, armazenamento energético e fontes renováveis	Redução de custos e emissões
8	Hong et al. (2023)	Guindastes de cais com trolley duplo, caminhões elétricos autônomos e guindastes automatizados	Energia operacional	Redução do consumo energético
9	Zhong et al. (2023)	Guindastes de cais, AGVs e guindastes de pátio	Energia de movimentação e espera	Redução do consumo energético
10	Li et al. (2023)	Guindastes automatizados, AGVs e guindastes automatizados de pátio	Baterias e recarga elétrica	Redução do custo de carregamento
11	Li (2023)	Guindastes de cais, veículos automatizados e guindastes de pátio	Energia associada ao tempo e deslocamento	Otimização simultânea de tempo e energia

12	Cai et al. (2024)	Guindastes de cais, veículos internos e guindastes de pátio	Energia e robustez operacional	Melhoria operacional e energética
13	Wang et al. (2024)	Guindastes de cais, guindastes de pátio e caminhões	Rede elétrica, renováveis, hidrogênio e armazenamento energético	Integração entre energia e operação
14	Zhen et al. (2024)	Guindastes especiais de cais	Energia solar e rede elétrica	Redução de custos operacionais
15	Servare et al. (2024)	Rotas, pilhas e berços	Fornecedores de energia e baterias	Redução de custos energéticos

## 4.1 TENDÊNCIAS GERAIS NA LITERATURA

A análise do portfólio bibliográfico evidencia que a literatura sobre otimização energética em sistemas portuários apresenta um domínio de estudos aplicados a terminais automatizados de contêineres. Os trabalhos analisados concentram-se majoritariamente em problemas relacionados à programação integrada de equipamentos, envolvendo guindastes de cais, guindastes de pátio, veículos guiados automaticamente, veículos automatizados de movimentação e sistemas automatizados de transporte de cargas.

Observa-se que os estudos mais antigos estavam voltados principalmente à maximização da produtividade operacional, redução do tempo total de operação e melhoria da utilização dos equipamentos. Entretanto, ao longo dos últimos anos, nota-se uma evolução gradual da literatura, passando a incorporar explicitamente o consumo energético como variável relevante dentro dos modelos de otimização.

Nesse contexto, trabalhos como Yang et al. (2019), Wang e Zhu (2019), Hong et al. (2023), Zhong et al. (2023), Li et al. (2023), Cai et al. (2024) e Li (2023) demonstram uma tendência crescente de integração entre eficiência operacional e eficiência energética. Os estudos analisados indicam que estratégias voltadas exclusivamente à maximização da produtividade operacional podem resultar em aumento do consumo energético total. Em outras palavras, reduções do tempo total de operação, aumento da velocidade operacional ou ampliação do número de equipamentos nem sempre implicam maior eficiência energética, evidenciando a existência de trade-offs entre desempenho operacional e consumo de energia.

Outra tendência observada refere-se ao avanço da automação portuária e da eletrificação dos equipamentos. Diversos estudos incorporam veículos guiados automaticamente elétricos, caminhões elétricos autônomos, redes elétricas inteligentes, fornecimento de energia em terra, sistemas de armazenamento energético e fontes renováveis de energia. Trabalhos mais recentes, como Zhang et al. (2022), Wang et al. (2024) e Zhen et al. (2024), ampliam o escopo da discussão ao integrar operação portuária, gerenciamento energético e sustentabilidade em um mesmo modelo de decisão.

Além disso, verifica-se que a maior parte dos estudos concentra-se em operações locais e discretas, como alocação de berços, sequenciamento de equipamentos e movimentação de contêineres. Em contraste, modelos aplicados a sistemas pátio-porto de

granéis sólidos ainda são menos frequentes, destacando-se principalmente os trabalhos de Servare et al. (2024), que incorporam planejamento energético integrado em sistemas minério-pátio-porto.

## 4.2 MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO EMPREGADOS

Os artigos analisados demonstram forte predominância de modelos de programação matemática, especialmente formulações de Programação Inteira Mista, Programação Linear Inteira Mista e Programação Não Linear Inteira Mista. Esses modelos são utilizados para representar restrições operacionais, temporais, espaciais, energéticas e de capacidade associadas às operações portuárias.

Entretanto, observa-se convergência entre os autores quanto à elevada complexidade computacional dos problemas estudados. A maioria dos trabalhos classifica seus modelos como problemas de elevada complexidade combinatória, principalmente em cenários envolvendo múltiplos equipamentos, grandes horizontes temporais e integração entre operação e energia.

Diante disso, diversos estudos recorrem à utilização de heurísticas, metaheurísticas e métodos híbridos como estratégias de solução. Entre os principais métodos identificados destacam-se Algoritmo Genético, Otimização por Enxame de Partículas, *Artificial Bee Colony*, Busca Adaptativa em Grande Vizinhança, Horizonte Rolante, otimização baseada em simulação e algoritmos de decomposição.

Os trabalhos de He et al. (2015), Yang et al. (2019), Wang e Zhu (2019), Li et al. (2022), Li (2023) e Cai et al. (2024), por exemplo, utilizam algoritmos genéticos ou metaheurísticas multiobjetivo para lidar com o crescimento exponencial do espaço de soluções. Já Wang et al. (2024) combinam Busca Adaptativa em Grande Vizinhança com o solucionador Gurobi, enquanto Servare et al. (2024) utilizam Horizonte Rolante para reduzir o impacto computacional das decisões energéticas sob incerteza.

Observa-se ainda uma tendência recente de incorporação de modelos estocásticos e robustos, especialmente em estudos que consideram incertezas operacionais e energéticas. Zhang et al. (2022) e Zhen et al. (2024), por exemplo, utilizam programação estocástica em dois estágios, enquanto Cai et al. (2024) incorporam robustez operacional e efeitos em cascata associados a atrasos operacionais.

De forma geral, os métodos empregados refletem o aumento da complexidade dos sistemas portuários contemporâneos, especialmente diante da necessidade de integrar logística, energia, sustentabilidade e automação em um mesmo ambiente decisório.

## 4.3 INTEGRAÇÃO ENTRE OPERAÇÃO E ENERGIA

A análise dos artigos demonstra que a integração entre operação portuária e gerenciamento energético constitui uma das principais tendências recentes da literatura. Entretanto, essa integração ocorre em diferentes níveis de profundidade entre os estudos analisados.

Em uma parcela significativa da literatura, a energia é tratada principalmente como

consequência das operações dos equipamentos. Nesses casos, o consumo energético é calculado a partir de deslocamentos, tempos de operação, períodos de espera e movimentações carregadas ou vazias. Trabalhos como Wang e Zhu (2019), Zhong et al. (2023), Li et al. (2022) e Li (2023) enquadram-se nessa abordagem, na qual a energia aparece como indicador de desempenho operacional.

Por outro lado, estudos mais recentes passam a tratar a energia como recurso estratégico do sistema portuário. Nessa abordagem, a literatura incorpora múltiplas fontes energéticas, sistemas de armazenamento, microgrids, OPS, energia renovável, hidrogênio e tarifas variáveis de energia ao longo do horizonte de planejamento.

Zhang et al. (2022), Wang et al. (2024) e Zhen et al. (2024) representam avanços importantes nesse sentido, pois integram decisões operacionais e energéticas dentro de modelos unificados. Nesses trabalhos, a demanda energética dos equipamentos passa a influenciar diretamente decisões de alocação, scheduling e utilização de recursos.

Observa-se também crescente preocupação com eletrificação portuária e transição energética. A literatura recente discute redução de emissões, integração de fontes renováveis, smart ports e sistemas sustentáveis de gerenciamento energético. Em alguns casos, como Wang et al. (2024), os modelos passam a representar explicitamente fluxos energéticos completos, incluindo compra, armazenamento, consumo e fornecimento de energia.

Apesar desses avanços, a integração entre energia e operação ainda permanece predominantemente associada a terminais de contêineres. Modelos aplicados a sistemas minério-pátio-porto, com estoques dinâmicos, múltiplas etapas operacionais e planejamento energético integrado, ainda são menos frequentes na literatura.

#### 4.4 LIMITAÇÕES E LACUNAS

A análise comparativa do portfólio evidencia diversas limitações recorrentes na literatura. A principal delas refere-se à predominância de estudos aplicados a terminais automatizados de contêineres, enquanto sistemas pátio-porto de granéis sólidos permanecem significativamente menos explorados.

Outra limitação importante está relacionada ao escopo energético dos modelos. Embora muitos estudos incorporem consumo energético operacional, poucos realizam gerenciamento energético integrado envolvendo múltiplas fontes de energia, disponibilidade energética, tarifas temporais e armazenamento energético simultaneamente.

Também se observa que grande parte dos trabalhos concentra-se em problemas operacionais locais, como sequencing, berth allocation e routing de equipamentos, sem integrar fluxos operacionais completos ao longo da cadeia logística portuária. Modelos que incorporem simultaneamente produção, estoque, transporte, recuperação e carregamento ainda são menos frequentes.

Além disso, poucos estudos consideram de forma integrada: sustentabilidade, robustez operacional incertezas, múltiplas fontes energéticas, planejamento temporal OU validação em ambientes reais.

Embora alguns artigos utilizem estudos de caso reais, ainda existe espaço para maior validação prática dos modelos em operações portuárias reais de grande escala, especialmente em sistemas minério-pátio-porto.

Por fim, observa-se que o crescimento da complexidade operacional e energética leva grande parte dos autores a utilizar heurísticas, metaheurísticas e métodos híbridos, evidenciando que a resolução exata de modelos integrados ainda representa um desafio importante na literatura. Nesse sentido, futuras pesquisas podem avançar no desenvolvimento de modelos mais integrados, robustos e computacionalmente eficientes, capazes de representar simultaneamente operação portuária, gestão energética e sustentabilidade em sistemas logísticos complexos.

## 5. CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica e sistemática permitiu identificar e analisar os principais avanços relacionados à otimização energética em ambientes portuários, com foco em sistemas pátio-porto e operações logísticas integradas. A partir da aplicação estruturada do método ProKnow-C, foi possível construir um portfólio bibliográfico composto por estudos alinhados ao escopo da pesquisa, evidenciando tendências metodológicas, abordagens predominantes e lacunas ainda existentes na literatura científica.

Os resultados demonstraram que a literatura apresenta forte predominância de estudos aplicados a terminais automatizados de contêineres, especialmente relacionados à programação integrada de equipamentos, alocação de berços e gerenciamento operacional. Observou-se também uma evolução gradual das pesquisas, que passaram de abordagens focadas predominantemente na produtividade operacional para modelos que incorporam explicitamente o consumo energético, a eletrificação portuária, as smart grids, os sistemas de armazenamento energético e as fontes renováveis de energia.

Além disso, verificou-se que os modelos de Programação Inteira Mista, Programação Linear Inteira Mista e Programação Não Linear Inteira Mista constituem as principais abordagens utilizadas na representação dos problemas estudados. Entretanto, a elevada complexidade computacional desses modelos faz com que grande parte dos autores utilize heurísticas, metaheurísticas e métodos híbridos como estratégias de solução, destacando-se algoritmos genéticos, *Particle Swarm Optimization*, *Artificial Bee Colony*, *Adaptive Large Neighborhood Search* e *rolling horizon*.

Outro aspecto relevante identificado foi o avanço da integração entre operação portuária e gerenciamento energético. Em trabalhos mais recentes, a energia deixa de ser tratada apenas como consequência operacional e passa a assumir papel estratégico nos modelos de decisão, influenciando diretamente a programação de equipamentos, o planejamento operacional e a utilização de recursos energéticos. Ainda assim, essa integração permanece concentrada principalmente em terminais de contêineres, havendo menor quantidade de estudos voltados a sistemas minério-pátio-porto de granéis sólidos.

A análise sistêmica também evidenciou importantes lacunas científicas. Entre elas, destacam-se a limitada quantidade de modelos aplicados a sistemas pátio-porto integrados, a baixa incorporação simultânea de múltiplas fontes energéticas, armazenamento,

incertezas operacionais e sustentabilidade, além da carência de validação prática em operações portuárias reais de grande escala. Essas limitações reforçam a necessidade do desenvolvimento de modelos mais integrados, robustos e computacionalmente eficientes, capazes de representar simultaneamente aspectos operacionais, energéticos e sustentáveis em sistemas logísticos complexos.

Por fim, conclui-se que a otimização energética em sistemas portuários constitui um campo de pesquisa em expansão, impulsionado pela crescente demanda por eficiência operacional, redução de custos energéticos e sustentabilidade. Nesse contexto, este trabalho contribui para a consolidação do estado da arte ao organizar e discutir criticamente as principais abordagens encontradas na literatura, além de identificar tendências e oportunidades para futuras pesquisas relacionadas à integração entre logística portuária, transformação digital e gestão energética em sistemas pátio-portos.

## REFERÊNCIAS

ACCIARO, M. Corporate responsibility and value creation in the port sector. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 18, n. 3, p. 291–311, 2015.

ACCIARO, M.; GHIARA, H.; CUSANO, M. I. Energy management in seaports: A new role for port authorities. **Energy Policy**, v. 71, p. 4–12, 2014.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, p. 959–975, 2017.

BIERWIRTH, C.; MEISEL, F. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 3, p. 615–627, 2010.

CAI, L. et al. Incorporation of energy-consumption optimization into multi-objective and robust port multi-equipment integrated scheduling. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 166, 2024.

CARLO, H. J.; VIS, I. F. A.; ROODBERGEN, K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. **European Journal of Operational Research**, v. 236, n. 1, p. 1–13, 2014.

ENSSLIN, L. et al. ProKnow-C, Knowledge Development Process—Construtivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**. Brasil, 2010.

HE, J. et al. Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 5, p. 2464–2487, 1 abr. 2015a.

HE, J.; HUANG, Y.; YAN, W. Yard crane scheduling in a container terminal for the trade-off between efficiency and energy consumption. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 1, p. 59–75, 2015b.

HEILIG, L.; SCHWARZE, S.; VOSS, S. An analysis of digital transformation in the history and future of modern ports. **Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences**, 2017.

HONG, C. et al. The Integrated Scheduling Optimization for Container Handling by Using Driverless Electric Truck in Automated Container Terminal. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 6, art. 5536, 2023.

IRIS, Ç.; LAM, J. S. L. A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 170–182, 2019.

IRIS, Ç.; LAM, J. S. L. Optimal energy management and operations planning in seaports with smart grid while harnessing renewable energy under uncertainty. **Omega (United Kingdom)**, v. 103, 2021.

LI, X. et al. A decomposition-based optimization method for integrated vehicle charging and operation scheduling in automated container terminals under fast charging technology. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 180, 2023.

LI, H. A heuristic algorithm for equipment scheduling at an automated container terminal with multi-size containers. **Archives of Transport**, v. 65, p. 67–86, 2023.

LI, W. et al. Multiobjective Scheduling for Cooperative Operation of Multiple Gantry Cranes in Railway Area of Container Terminal. **IEEE Access**, v. 10, p. 46772–46781, 2022.

SERVARE JUNIOR, M. W. J.; ROCHA, H. R. O.; SALLES. Modelo Matemático Multi-Produtos para Planejamento de Alocação de Pilha de Minérios. **Anais do LI SBPO**, p. 108–119, 2019.

SERVARE, M. W. J.; DE OLIVEIRA ROCHA, H. R.; SALLES, J. L. F. A smart energy scheduling under uncertainties of an iron ore stockyard-port system using a rolling horizon algorithm. **Computers and Operations Research**, v. 164, 2024.

SILVA, G. M.; SOUSA JUNIOR, J. J. de; SERVARE JUNIOR, M. W. J.; XAVIER, T. P. Electricity prices, state policies, and corporate strategies in Brazil: a literature review using ProKnow-C. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 18, 2026

STAHLBOCK, R.; VOSS, S. Operations research at container terminals: A literature update. **OR Spectrum**, v. 30, n. 1, p. 1–52, 2008.

UNCTAD. (2023). Review of Maritime Transport 2023. **United Nations Conference on Trade and Development**. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>

WANG, Z. et al. Integrated energy management and operations planning in oil-electric hybrid container terminals considering multi-energy supply. **Advanced Engineering Informatics**, v. 60, 2024.

WANG, L.; ZHU, X. Container loading optimization in rail-truck intermodal terminals considering energy consumption. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 8, art. 2383, 2019.

YANG, Y.; ZHU, X.; HAGHANI, A. Multiple Equipment Integrated Scheduling and Storage Space Allocation in Rail–Water Intermodal Container Terminals Considering Energy Efficiency. **Transportation Research Record**, v. 2673, p. 199–209, 2019.

ZHANG, Y. et al. Optimal Port Microgrid Scheduling Incorporating Onshore Power Supply and Berth Allocation Under Uncertainty. **Applied Energy**, v. 313, 2022.

ZHEN, L. et al. Integrated planning model for two-story container ports. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 160, 2024.

ZHONG, Z. et al. Energy-aware Integrated Scheduling for Container Terminals with Conflict-free AGVs. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 32, p. 413–443, 2023.

aneiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e Documentação - Referências. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e Documentação - Referências. ABNT, Rio de Janeiro, 2018

## HISTÓRICO

ORIGINAL RECEBIDO: 05-11-2025

ACEITO PARA PUBLICAÇÃO: 11-05-2026

