

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À  
ENGENHARIA E GESTÃO**

**Renato Armani Aguiar**

**SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: APLICAÇÃO DE UM MODELO  
DE ECOEFICIÊNCIA ASSOCIADO AO DESEMPENHO  
OPERACIONAL**

**Campos dos Goytacazes/RJ**

**2023**

PÚBLICA

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS  
À ENGENHARIA E GESTÃO**

Renato Armani Aguiar

**SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: APLICAÇÃO DE UM MODELO DE  
ECOEFIÊNCIA ASSOCIADO AO DESEMPENHO OPERACIONAL**

Romeu e Silva Neto

(Orientador)

Milton Erthal Junior

(Coorientador)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos Goytacazes / RJ

2023

PÚBLICA

Biblioteca  
CIP - Catalogação na Publicação

A282s	<p>Aguiar, Renato Armani SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: APLICAÇÃO DE UM MODELO DE ECOEFICIÊNCIA ASSOCIADO AO DESEMPENHO OPERACIONAL / Renato Armani Aguiar - 2023. 80 f.: il. color.</p> <p>Orientador: Romeu Silva Neto Coorientador: Milton Erthal Junior</p> <p>Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Anton Dakitsch, RJ, 2023. Referências: f. 76 a 78.</p> <p>1. Sustentabilidade. 2. Terminal Portuário. 3. Ecoeficiência. 4. Desempenho Operacional. I. Silva Neto, Romeu , orient. II. Erthal Junior, Milton , coorient. III. Título.</p>
-------	--

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca do IFF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS  
À ENGENHARIA E GESTÃO

Renato Armani Aguiar

SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: APLICAÇÃO DE UM MODELO DE  
ECOEFICIÊNCIA ASSOCIADO AO DESEMPENHO OPERACIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Aprovado(a) em 30 de Março de 2023.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

ROMEU E SILVA NETO

Data: 11/05/2023 19:21:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Romeu e Silva Neto, Doutor em Engenharia de Produção,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense  
(Orientador)



Documento assinado digitalmente

MILTON ERTHAL JUNIOR

Data: 11/05/2023 16:30:35-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Milton Erthal Junior, Doutor em Produção Vegetal  
UENF



Documento assinado digitalmente

LIGIA MACABU RIBAS

Data: 15/05/2023 13:25:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Lígia Macabu Ribas, Doutora em Ecologia e Recursos Naturais  
UENF



Documento assinado digitalmente

FRANK PAVAN DE SOUZA

Data: 12/05/2023 09:41:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Frank Pavan de Souza, Doutor em Engenharia Civil  
COPPE/UFRJ

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais, pelos bons exemplos,  
À minha esposa e meus filhos pela compreensão, carinho e apoio.  
Aos professores e colegas do SAEG, pelos ensinamentos  
e por caminharem junto comigo nesta trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir mais este objetivo conquistado em minha vida.

Aos professores e colegas do SAEG/IFF pelos momentos de aprendizado e compartilhamento de conhecimento. Em especial, agradeço à colega Erica Amoy pelo incentivo e apoio.

Ao Professor Dr. Frank Pavan de Souza e a colega e profissional Dr<sup>a</sup>. Lígia Macabu Ribas, pela disponibilidade e participação na banca examinadora dessa dissertação.

Ao apoio da Petrobras que se mostra como uma empresa diferenciada e comprometida com o desenvolvimento de seus empregados, incentivando o crescimento da ciência e apoiando a produção científica nacional.

Às equipes da Petrobras e Brasil Port, por meio das gerências de Operações Portuárias, Manutenção, Meio Ambiente e Sustentabilidade, as quais contribuíram ativamente para este trabalho.

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Romeu e Silva Neto e ao coorientador Prof. Dr. Milton Erthal Junior, pelo apoio e pelas cobranças, pois foram fundamentais para essa conquista.

Em especial agradeço a meus pais Ademar e Elza, meu avô Orlando, meus irmãos Fernando e Rafael e minha sogra Graça, pelo apoio e ajuda em todos os momentos.

Agradeço minha amada esposa Ludmila pelo seu amor e carinho e por estar sempre presente, compreendendo e me ajudando a superar todos os momentos dessa jornada. E meus filhos Lucas e Daniel, presentes de Deus em minha vida, aos quais deixo a mensagem para que sempre acreditem em seu potencial, pois vencedores não são aqueles que nunca falham, são pessoas que nunca desistem de seus objetivos, por mais difícil que seja o caminho.

Muito obrigado

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Sir. Isaac Newton

## RESUMO

Os terminais portuários são fundamentais para a indústria e para o comércio marítimo internacional e ainda contribuem para o desenvolvimento socioeconômico das regiões onde estão situados. Contudo, os portos também podem gerar impactos adversos nessas regiões, seja pela emissão de gases de efeito estufa, ruído, poluição da água e solo, ou pela mudança promovida no cotidiano das comunidades em seu entorno. Neste cenário desponta a necessidade na adequar suas operações a requisitos de sustentabilidade e de gestão ambiental, sejam estes normativos ou não. A adoção de iniciativas sustentáveis nas operações portuárias tem aumentado nos últimos anos e, embora muitos portos afirmem operar de forma sustentável, tais abordagens nem sempre são mensuradas e confirmadas pela literatura acadêmica. Dessa forma, este estudo analisou e sintetizou características estabelecidas na literatura sobre o desempenho da sustentabilidade portuária e sua avaliação em termos de gestão e análise do ciclo de vida dos processos. Para tanto, foram desenvolvidos dois artigos científicos com objetivos distintos, que se complementam para o atendimento do objetivo principal, qual seja, analisar os principais ecoindicadores utilizados pela indústria portuária e mensurar a ecoeficiência de um terminal portuário de apoio às operações de E&P de óleo e gás, a partir da aplicação do método *Ecological Fingerprint*, e ainda propor um indicador unificado denominado IRE – Índice Relativo de Ecoeficiência, calculado a partir dos ecoindicadores analisados. Como resultados este trabalho forneceu *insights* sobre a mensuração da sustentabilidade portuária impulsionada pelo estabelecimento de indicadores precisos como base para a medição, bem como comprovou a eficiência e praticidade do método proposto. O estudo mostrou ainda a possibilidade de analisar a ecoeficiência entre portos ou outros setores, que compartilhem de processos similares, abrindo uma ampla possibilidade para pesquisas e futuras aplicações.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Terminal portuário, Ecoeficiência, Desempenho Operacional



## ABSTRACT

Port terminals are essential for industry and international maritime trade and also contribute to the socioeconomic development of the regions where they are located. However, ports can also generate adverse impacts in these regions, either through the emission of greenhouse gases, noise, water and soil pollution, or through the change promoted in the daily lives of the surrounding communities. In this scenario, the need arises to adapt its operations to sustainability and environmental management requirements, whether these are normative or not. The adoption of sustainable initiatives in port operations has increased in recent years and, although many ports claim to operate sustainably, such approaches are not always measured and confirmed by the academic literature. Thus, this study analyzed and synthesized characteristics established in the literature on the performance of port sustainability and its evaluation in terms of operation and management. To this end, two scientific articles were developed with different objectives, which complement each other to meet the main objective, that is, to analyze the main ecoindicators used by the port industry and to measure the eco-efficiency of a port terminal to support oil and gas E&P operations. gas, based on the application of the Ecological Fingerprint method, and also propose a unified indicator called IRE – Relative Eco-Efficiency Index, calculated from the analyzed eco-indicators. As a result, this work provided insights into the measurement of port sustainability driven by the establishment of accurate indicators as a basis for measurement, as well as proving the efficiency and practicality of the proposed method. The study also showed the possibility of analyzing eco-efficiency between ports or other sectors that share similar processes, opening up a wide possibility for research and future applications.

**Keywords:** Sustainability, Port Terminal, Eco-efficiency, Operational Performance

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES – ARTIGO 1

Figura 1 - Etapas do método da pesquisa .....	27
Figura 2 - Critérios de elegibilidade dos artigos.....	28
Figura 3 - Artigos publicados por ano, a partir de 2014, nas bases WoS e Scopus sobre sustentabilidade portuária.....	30
Figura 4 - Agrupamento das 10 palavras-chave mais usadas.....	31
Figura 5 - Aspectos de sustentabilidade abordados.....	33

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES – ARTIGO 2

Figura 1 - Esquema para análise de ecoeficiência baseado no modelo Ecological Fingerprint .....	58
Figura 2 - Visão geral do ciclo de vida operacional em um terminal portuário de apoio offshore .....	60
Figura 3 - Consumo de energia primária no ciclo de vida do processo .....	65
Figura 4 - Consumo total de água no terminal durante o ciclo de vida do processo.....	66
Figura 5 - Geração de efluentes e resíduos durante o ciclo de vida do processo no porto .....	67
Figura 6 - Emissão total de CO2 Equivalente ao longo do ciclo de vida do processo .....	68
Figura 7 - Ecological Fingerprint - Impressão digital ambiental dos impactos relativos ao ciclo de vida do processo em cada mês.....	70
Figura 8 - Comparativo de ecoeficiência mensal para o ano de 2022 no processo portuário ..	71
Figura 9 - Ordenamento da ecoeficiência a partir do IRE calculado para cada mês.....	72

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais Conferências das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.....	15
--	----

### **LISTA DE TABELAS - ARTIGO 1**

Tabela 1 - Comparação entre as principais contribuições de Revisões de Literatura na área de sustentabilidade portuária.....	25
Tabela 2 – Critério de elegibilidade de artigos.....	29
Tabela 3 - Fator de impacto e localização dos artigos.....	32
Tabela 4 - Abordagem metodológica e métricas de sustentabilidade por tipo de terminal.....	34
Tabela 5 – Variáveis de referência para sustentabilidade portuária obtidas a partir da leitura dos artigos selecionados.....	35

### **LISTA DE TABELAS - ARTIGO 2**

Tabela 1 - Características comparativas entre diferentes metodologias de avaliação de ecoeficiência.....	51
Tabela 2 – Principais Aspectos de Ecoeficiência Portuária abordadas na literatura.....	55
Tabela 3 - Variáveis de referência para sustentabilidade portuária.....	56
Tabela 4 - Propostas de ecoindicadores em diferentes visões de abrangência.....	57
Tabela 5 – Movimentações e Tarifas portuária praticadas ao longo de 2022.....	64
Tabela 6 - Consumo de combustíveis fósseis ao longo do ciclo de vida do processo.....	67
Tabela 7 - Dados normalizados.....	69

## LISTA DE SIGLAS

AAPA – *American Association of Port Authorities*

ACV – *Análise do Ciclo de Vida*

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*

ANTAQ – *Agência Nacional de Transporte Aquaviário*

CSP – *Sustainability Performance*

E&P – *Exploração e Produção*

ESG – *Environmental, Social and Governance*

ESPO – *The European Sea Port Organization*

GEE/GHG – *Gases de Efeito Estufa / Greenhouse Gas*

GMEP – *Green Marine Environmental Program*

IMO – *International Maritime Organization*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IRE – *Índice Relativo de Ecoeficiência*

NORMAM – *Normas da Autoridade Marítima*

OCNP – *Ocean's Carrier Network Problem*

PIANC – *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure*

SC – *Sustentabilidade Corporativa*

SDGs – *Sustainable Development Goals*

UNCTAD – *United Nations Conference on Trade and Development*

WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
1.1. Estrutura do Trabalho.....	16
ARTIGO 1 - SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: UMA ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA ALINHADA AO DESEMPENHO OPERACIONAL E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA .....	18
RESUMO .....	18
ABSTRACT.....	19
1 INTRODUÇÃO .....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
3 METODOLOGIA .....	26
4 RESULTADOS.....	29
4.1 Seleção de artigos.....	29
4.2 Análise e Interpretação dos Resultados.....	33
5 DISCUSSÃO.....	37
6 CONCLUSÃO .....	41
REFERÊNCIAS .....	43
ARTIGO 2 - MENSURAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA PORTUÁRIA: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA A PARTIR DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO .....	47
RESUMO .....	47
ABSTRACT.....	48
1 INTRODUÇÃO .....	49
1.1 Ecoeficiência Corporativa e Análise do Ciclo de Vida.....	50
1.2 Gerenciamento Ambiental Portuário.....	53
1.2.1 Ecoindicadores Portuários e Cálculo da Ecoeficiência .....	53
2 METODOLOGIA .....	58
3 RESULTADOS.....	64
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS .....	76
CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os portos têm desempenhado outras funções além de simplesmente movimentar cargas no cais. Nota-se que sua área de influência se estende além das fronteiras marítimas e terrestres, suas estratégias operacionais e de gestão estão envolvidas com seu público de interesse ou *stakeholders* em diferentes cenários, desde o local ao global, do negócio ao governo. Além disso, a função do sistema portuário na cadeia logística tem o potencial de moldar o desempenho social e ambiental dos sistemas de transporte em suas áreas de influência (BERGQVIST; MONIOS, 2018; HOUSNI *et al.*, 2022).

No tocante ao desempenho ambiental, embora possa haver resistência de alguns terminais portuários em agir além das obrigações legais, aos quais estão submetidos, empresas com problemas de reputação, associados a violações socioambientais, governança e ética, têm seus resultados financeiros diretamente impactados, motivos que têm levado os administradores portuários a repensar suas estratégias e buscar modelos de governança que promovam eficiência ambiental e econômica (CALISKAN, 2022; LIM *et al.*, 2019).

Neste sentido, a comunidade internacional tem cobrado respostas das empresas por ações socioambientais mais responsáveis, a partir do Protocolo de Kyoto elaborado e assinado em 1997, com o objetivo de propor metas e obrigações aos países, quanto a redução de emissões de gases de efeito estufa à atmosfera, outros tratados e acordos têm surgido, no intuito de minimizar os impactos causados pelas indústrias (KUTLU; WANG, 2021; ROBAINA-ALVES; MOUTINHO; MACEDO, 2015). São destacadas na Tabela 1 as principais conferências em torno de temas voltados à preservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

Tabela 1 - Principais Conferências das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Conferências ambientais	Ano	Principais Resultados
Conferência de Estocolmo	1972	26 princípios sobre desenvolvimento e meio ambiente
1ª Conferência Mundial do Clima - WCC-1	1988	Criação do Programa Mundial do Clima
Conferência Rio-92	1992	Criação do Fundo para o Meio Ambiente Global - GEF Assinatura da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
1ª Conferência das Partes - COP	1995	Busca por ações juridicamente vinculadas para reduzir emissões de carbono
Protocolo de Kyoto - COP3	1997	Proteger as economias em desenvolvimento dos custos da redução de emissões Tornar estável a concentração de GEE, de forma econômica e viável, com a criação de créditos de carbono
COP 21 e Acordo de Paris	2015	Medidas para reduzir emissões de GEE e manter o aumento da temperatura do planeta abaixo de 2°C, em comparação com a temperatura pré-revolução industrial.

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, o atendimento aos requisitos socioambientais tem sido, normalmente, percebido como custos adicionais, pois aumentam o valor dos serviços. Assim, os portos têm percebido que operar de forma não sustentável pode ser uma ameaça ao negócio, e estão buscando reverter essa percepção de enxergar a sustentabilidade como um risco, passando a ser vista como uma oportunidade (HOUSNI *et al.*, 2022).

Os investidores sempre se dedicaram a observar KPIs econômicos para avaliar suas aquisições e auxiliar a tomada de decisão. Contudo, diante da necessidade de incorporar indicadores ESG - *Environmental, Social and Governance* ao portfólio de investimentos, abriu-se uma lacuna na tentativa de prever os riscos ambientais, sociais e de governança associados ao retorno econômico, tais indicadores representam um conjunto de padrões e boas práticas que visam definir se uma empresa é socialmente consciente, sustentável e corretamente gerenciada (USUBIAGA-LIANO; EKINS, 2021).

Assim, tem ganhado destaque o conceito de ecoeficiência, definido pelo *World Business Council for Sustainable Development* – WBCSD, como a competitividade na produção e colocação no mercado de bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas, melhorando a qualidade de vida, minimizando os impactos ambientais e a intensidade do uso de recursos naturais, considerando todo ciclo de produção (GOBBI *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2014).

Considerando o cenário de sustentabilidade, este trabalho busca contribuir de forma prática com a aplicação de conceitos sobre o tema da ecoeficiência nos portos. Complementam ainda a motivação dessa pesquisa as percepções relevantes e significativas acerca do assunto desempenho da sustentabilidade portuária, encontradas na literatura científica. O estudo de

BERGQVIST; MONIOS, 2018 aponta para uma falta de revisões abrangentes sobre o tema e também questiona sobre como o desempenho de sustentabilidade portuária e suas avaliações contribuem para o cumprimento das metas de sustentabilidade. Além disso, o trabalho aborda as implicações gerenciais do desempenho de sustentabilidade nos portos.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é analisar os principais ecoindicadores utilizados pela indústria portuária e mensurar a ecoeficiência de um terminal portuário de apoio às operações de E&P de óleo e gás, a partir da aplicação do método *Ecological Fingerprint*. Ainda é proposto um indicador geral unificado denominado IRE – Índice Relativo de Ecoeficiência, calculado a partir dos ecoindicadores analisados.

Como resultado, a pesquisa forneceu *insights* sobre indicadores relacionadas ao desempenho da sustentabilidade portuária, que foram abordados pela literatura acadêmica, principalmente, a partir das perspectivas de desempenho; gestão e a relação entre os três aspectos da sustentabilidade: Ambiental, Social e Econômico, no contexto portuário.

Outrossim, a aplicação do método e a demonstração de sua eficiência e praticidade corroboraram para o atendimento do objetivo proposto. Contudo, o campo de estudo é vasto e o conhecimento não se estingue em uma aplicação, havendo espaço para aplicações e comparações entre outros terminais.

## **1.1. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em dois artigos científicos, sendo que o primeiro artigo, intitulado, “Sustentabilidade Portuária: Uma Análise da Ecoeficiência Alinhada ao Desempenho Operacional e Desenvolvimento Regional das Áreas de Influência”, objetiva apresentar uma revisão da literatura baseada na temática da utilização de ecoindicadores na gestão portuária. A partir de uma análise bibliométrica com 854 publicações, foram escolhidos 26 estudos mais aderentes, os quais permitiram uma análise abrangente e crítica da sustentabilidade nos portos. Os resultados apontaram as principais variáveis utilizadas para mensurar a sustentabilidade portuária e apoio aos formuladores de políticas públicas na implementação e condução de investimentos mais sustentáveis para os portos.

No segundo artigo, intitulado “Mensuração da Ecoeficiência Portuária: Uma aplicação prática a partir da análise do ciclo de vida do processo”, tem por objetivo aplicação da metodologia *Ecological Fingerprint*, em um terminal portuário de apoio às operações de óleo



e gás, e mensurar sua ecoeficiência a partir da análise do ciclo de vida do processo, propondo ainda a utilização de um índice de eficiência chamado IRE – índice Relativo e Ecoeficiência. Como resultado, comprovou-se a aplicabilidade e eficiência do método para o terminal portuário, permitindo ainda a identificação de lacunas no processo, contribuindo para agregação de valor aos serviços portuários de forma mais sustentável.

# **ARTIGO 1 - SUSTENTABILIDADE PORTUÁRIA: UMA ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA ALINHADA AO DESEMPENHO OPERACIONAL E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA**

Artigo submetido em 11/03/2023 à Revista IGEPEC - Qualis/CAPES – A4. Aceito em 11/05/23, com publicação prevista para 2º semestre de 2023.

Autores: Renato Armani Aguiar, Romeu e Silva Neto, Milton Erthal Junior

## **RESUMO**

A busca pela sustentabilidade tem recebido cada vez mais atenção de empresas, governos e sociedade, e sua mensuração tem fortalecido o conceito de ecoeficiência. Tal fato tem despertado interesse de pesquisadores e profissionais, que buscam na literatura científica abordagens sob diferentes aspectos relacionadas ao tema. Motivado pela escassez de trabalhos relativos à sustentabilidade portuária, este estudo tem por objetivo apresentar uma revisão da literatura baseada em conteúdo e temática acerca da utilização de ecoindicadores na gestão portuária. Como método, foi elaborada uma análise bibliométrica a partir de 854 publicações, sendo selecionados os 26 estudos mais aderentes. Os resultados apontaram que as principais variáveis econômicas, sociais e ambientais, estão concentradas respectivamente, em poluição, desenvolvimento regional e custos operacionais, tais resultados são apoiados por uma discussão crítica a qual identificou que os portos tendem a replicar estratégias de gestão similares em diferentes regiões. A implementação de ações sustentáveis em diferentes terminais, desponta como uma lacuna para estudos futuros.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Performance Ambiental, Ecoindicadores, Portos e Terminais, Gestão Ambiental

**ABSTRACT**

The quest for sustainability has received increasing attention from companies, governments and society, and its measurement has strengthened the concept of eco-efficiency. This fact has aroused the interest of researchers and professionals, who search the scientific literature for approaches in different aspects related to the theme. Motivated by the scarcity of works related to port sustainability, this study aims to present a literature review based on content and theme about the use of ecoindicators in port management. As a method, a bibliometric analysis was carried out from 854 publications, and the 26 most adherent studies were selected. The results showed that the main economic, social and environmental variables are concentrated, respectively, in pollution, regional development and operating costs, such results are supported by a critical discussion which identified that ports tend to replicate similar management strategies in different regions. The implementation of sustainable actions in different terminals emerges as a gap for future studies.

**KEY WORDS**

Environmental Performance, Ecoindicators, Ports and Terminals, Environmental Management

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo representa um dos pilares de sustentação da economia mundial, respondendo por cerca de 80% do comércio internacional. Em 2021, período pós pandemia, houve um aumento de 4,3% no comércio marítimo resultando também num aumento total de atracções nos portos (UNCTAD, 2021).

A consequência desse aumento nas operações marítimas e portuárias, registradas desde 2010, resultaram além da modernização das embarcações, na necessidade de ampliação e adequação das instalações portuárias, com canais mais profundos, equipamentos mais ágeis, aumento da tecnologia, entre outros. Em que pese o fato desses recursos terem se tornado mais eficientes, em paralelo, ocorreu também um crescimento contínuo das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) decorrente do maior uso de embarcações, maior número de dragagens e aumento no consumo de energia (PUIG; WOOLDRIDGE; DARBRA, 2014; UNCTAD, 2021).

Alguns estudos reconhecem que o desenvolvimento do setor portuário contribui para o crescimento econômico regional, por meio da geração de empregos diretos e indiretos (CALISKAN, 2022; VADAKKEPATT *et al.*, 2021). No entanto, as operações portuárias podem gerar consequências adversas ao meio ambiente, impactando o ar, água e solo, afetando ambientes terrestres e marinhos (ARGYRIOU; DARAS; TSOUTSOS, 2022; FERRARIO *et al.*, 2021).

Em complemento, (KING; ATKINS, 2017) descrevem que os resultados financeiros que outrora demonstravam sucesso na captação de investimentos, hoje sozinhos não são suficientes, pois as empresas precisam estar alinhadas aos princípios de desenvolvimento sustentável, para aumentar suas possibilidades em atrair novos investimentos. Assim, a consciência ambiental tem se tornado um diferencial competitivo para os diversos setores da economia, incluindo os portos. Desde o início dos anos 1980, (WBATUBA *et al.*, 2022) apontam para o crescimento gradativo da conscientização ecológica frente aos novos problemas ambientais, onde o uso de recursos ambientais passa a ser visto sobre a ótica da conciliação entre o equilíbrio dos ecossistemas frente a sustentabilidade do território ou região de influência das empresas.

Diante da pressão internacional por atividades socioambientais mais responsáveis, em setembro de 2015, foram aprovados pela Assembleia das Nações Unidas os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável – SDGs – *Sustainable Development Goals*, sendo o primeiro

conjunto global de metas abordando os três pilares da sustentabilidade – *Triple Bottom Line*, a saber: Econômico, Social e Sustentabilidade Ambiental. Esses objetivos estão entre os princípios mais reconhecidos atualmente para desenvolvimento sustentável, adotados em muitos estudos referentes à sustentabilidade portuária (ALAMOUSH; BALLINI; DALAKLIS, 2021; CALISKAN, 2022; GERLITZ; MEYER, 2021; LARA; AREND; OLIVEIRA, 2022).

Os modelos de governança Portuária, buscando minimizar os impactos provocados por suas operações, têm contribuído para o fortalecimento do conceito de ecoeficiência, termo definido pelo *World Business Council for Sustainable Development* – WBCSD, como a relação de uma variável ambiental com um elemento econômico (produção, custo, serviço, etc). O monitoramento da sustentabilidade de processos, por meio de ecoindicadores, auxilia na tomada de decisões ambiental e economicamente mais seguras, além de permitir um acompanhamento sistêmico dos impactos gerados (RINCÓN; WELLENS, 2011).

Tendo em vista sua diversidade econômica, administrativa, cultural e social, os portos são sistemas complexos, uma mistura de interesses e responsabilidades das partes envolvidas. Tais pontos de vista, somados à localização geográfica e hidrografia locais tornam cada porto, único. Assim, para avaliar o desempenho ambiental dos portos e acompanhar seu processo de melhoria contínua, a utilização de eco indicadores têm se tornado cada vez mais relevante. (BICHOU; GRAY, 2005; MAŃKOWSKI; CHARŁAMPOWICZ, 2021; PUIG; WOOLDRIDGE; DARBRA, 2014).

Logo, no tocante a importância do desenvolvimento sustentável para o setor portuário, a partir da literatura científica, percebe-se a complexidade e as características específicas das atividades portuárias, cabendo aos gestores a utilização de ferramentas adicionais para mensuração da sustentabilidade, que permitam construir uma eficiente estrutura de gestão, assegurando aos gestores portuários identificar, avaliar, priorizar e atender as metas de desenvolvimento socioambiental.

Assim, este trabalho tem o objetivo de avaliar o conhecimento atual e as publicações relevantes sobre a aplicação de ecoindicadores na gestão portuária nos principais portos mundiais. Destacam-se os terminais europeus, haja vista a maior pressão da opinião pública e governos, além da robustez da legislação ambiental naquela região. Para tanto, foi elaborada uma criteriosa revisão da literatura, relacionando os principais indicadores de sustentabilidade adotados na mensuração da ecoeficiência para suporte a gestão em terminais portuários.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta uma visão geral de pesquisas relacionadas ao tema central deste trabalho, onde a revisão da literatura e uma análise bibliométrica foram usadas como método de pesquisa, sendo esta etapa relevante para delineamento de lacunas científicas identificadas e abordadas neste estudo.

A base do planejamento da gestão ambiental portuária global está apoiada na ISO 14.001 – Sistema de Gestão Ambiental, a qual permite aos portos desenvolver uma estrutura para proteção do meio ambiente e resposta às mudanças das condições ambientais (ACCIARO, 2015). Contudo, diante da crescente pressão internacional para atendimento aos compromissos de desenvolvimento sustentável (SDGs), cada vez mais torna-se indispensável mensurar a sustentabilidade portuária, que por sua vez é avaliada por meio de ecoeficiência de ecoindicadores pré estabelecidos.

Por meio de uma revisão sistemática da literatura (BJERKAN; SETER, 2019) abordam ferramentas e tecnologias para portos sustentáveis, classificando-as em 4 categorias principais: Gestão e planejamento portuário; Energia e combustíveis; Atividades marítimas; e Atividades terrestres. A pesquisa discute até que ponto essas tecnologias apoiam gestores portuários em seus esforços direcionados à sustentabilidade, sugerindo em suas conclusões, que a literatura tem sido baseada em poucos achados empíricos, onde sugerem para trabalhos futuros, maior uso de dados práticos e compreensão clara dos atores e processo, para de fato auxiliar na tomada de decisões.

Por sua vez, analisando diversas pesquisas com foco ambiental portuário, (VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) buscaram identificar métodos, cientificamente documentados de medição de desempenho portuário. Os autores perceberam algumas limitações quanto ao atendimento aos SDGs, bem como uma forte influência da *European Sea Port Organisation* – ESPO e da rede *Green Marine*, na América do Norte, por meio do seu programa *Green Marine Environmental Program* – GMPEP, órgãos que buscam melhorar o desempenho operacional e ambiental na indústria marítima e portuária.

Avaliando as principais tendências de pesquisas de campo nas áreas de transporte marítimo e portuária, (CAO *et al.*, 2021) identificam por meio de análise bibliográfica alguns temas dominantes, tais como: emissões e qualidade do ar, mudanças climáticas, energia, veículos elétricos, ruído e ambientes construídos, sendo que, recentemente, artigos relacionados

a impactos ambientais relacionados ao transporte marítimo e aos portos têm recebido grande número de citações e publicações.

Por meio de uma análise bibliométrica (JOVIĆ *et al.*, 2022) abordam a digitalização no transporte marítimo e nos portos e a influência desse processo nas demais atividades relacionadas ao setor. Os autores reconhecem a importância das novas tecnologias digitais, contudo apontam o surgimento de riscos associados a manipulação e falsificação de dados, sobretudo quando utilizados para controle de processos, destacando este tema para abordagens futuras.

Baseados na teoria da inovação do modelo de negócio e na teoria da resiliência, (DEL GIUDICE *et al.*, 2022) exploram o tema da digitalização e novas tecnologias direcionadas ao desenvolvimento sustentável para navegação e portos. Por meio de uma revisão sistemática da literatura seguida de uma análise bibliométrica, os autores buscam identificar se as novas tecnologias podem ajudar na criação de modelos de negócio mais sustentáveis, conforme estabelecido na Agenda 2030 das Nações Unidas para os SDGs em 2015 pelos Estados membro da ONU. O estudo aponta que a literatura tem se concentrado, principalmente, nas extremidades ambientais relacionadas a interface navio-porto, oferecendo contribuições teóricas e práticas para uma análise das principais variáveis que auxiliarão no atingimento dos SDGs.

Por sua vez, (VARESE *et al.*, 2022) categorizaram aspectos ambientais sobre portos secos, local alfandegado localizado em zona secundária, fora do porto principal, conectado a este diretamente por meio de ferrovia ou rodovia. Tal categorização forneceu um quadro conceitual apontando lacunas nas pesquisas acadêmicas, bem como sugeriu vínculos entre alguns tópicos de sustentabilidade e governança. Dentre os resultados obtidos, os autores identificaram que não há concretamente regras padronizadas para medir desempenho em portos secos, além disso não existe articulação entre as várias partes interessadas. Por fim, apontam a necessidade de maior discussão à luz dos SDGs e sobre a ótica dos portos secos, identificam a importância que novas estratégias de gestão sejam adotadas para cumprimento da Agenda 2030.

Com foco em Sustentabilidade Corporativa - SC, (STEIN; ACCIARO, 2020) apresentam uma análise estruturada da literatura com foco em identificar como a SC pode beneficiar a competitividade portuária. Os resultados da pesquisa indicam que além de urgente, a mensuração dos indicadores de sustentabilidade nos portos é significativa para a competitividade e geração de valor para os negócios.

Buscando identificar tendências, métodos de medição e mecanismos de implementação (LIM *et al.*, 2019), pesquisaram sobre desempenho e avaliação de sustentabilidade portuária. O estudo apresentou uma análise crítica sobre o tema com foco principal na implementação em termos de operação e gestão. Utilizando o conceito *Tripple Botton Line* os autores identificaram que as medições ambientais estão, basicamente, concentradas em poluição; já a pesquisa social está focada em recursos humanos; enquanto a análise econômica está focada na gestão portuária e nos investimentos.

Seguindo a temática de sustentabilidade portuária, (SISLIAN; JAEGLER; CARIOU, 2016) abordam uma lacuna existente na interrelação de dois conceitos: sustentabilidade portuária e o problema da rede de transporte marítimo – OCNP – *Ocean's Carrier Network Problem*. Assim, a pesquisa foi direcionada a avaliar conceitos de sustentabilidade portuária e analisar uma possível correlação com o OCNP. Para tanto, utilizando o conceito de *Triple Bottom Line*, focado exclusivamente na abordagem ambiental, sendo identificados alguns indicadores de sustentabilidade portuária e apresentando-os num quadro conceitual. Os autores ainda apontam como perspectivas futuras a consolidação do uso de tecnologias ágeis na logística, como forma de otimizar os processos portuários e marítimos, tornando-os mais sustentáveis e com menor custo.

Dentre os trabalhos identificados neste referencial teórico a Tabela 1 mostra uma comparação dessas revisões de literatura que contribuíram para o tema sustentabilidade portuária. Essas pesquisas oferecem uma visão geral das realizações atuais de alguns estudos científicos, em relação ao uso de eco indicadores portuários utilizados na mensuração da sustentabilidade e gestão portuária.

A pesquisas de (CAO *et al.*, 2021; JOVIĆ *et al.*, 2022; VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) abordaram terminais portuários na Europa, China, Estados Unidos e Canadá, onde identificaram, respectivamente, métodos de medição do desempenho portuário e os impactos ambientais nas regiões onde estão instalados, além dos benefícios e riscos associados ao uso de tecnologias digitais na criação de uma gestão sustentável.

Por sua vez, os demais autores não limitaram suas pesquisas a uma determinada região, analisando terminais em nível global, contudo, as análises mantiveram o objetivo de avaliar os impactos socioambientais, a mensuração da sustentabilidade e as perspectivas de como uma gestão baseada em princípios sustentáveis podem otimizar os processos portuários minimizando os impactos nas áreas próximas aos portos.



Destaca-se ainda que os trabalhos de (DEL GIUDICE *et al.*, 2022; LIM *et al.*, 2019; VARESE *et al.*, 2022) também apontam que uma gestão sustentável pode trazer reflexos positivos para a região portuária, complementando os efeitos da geração potencial de emprego e renda.

Tabela 1 - Comparação entre as principais contribuições de Revisões de Literatura na área de sustentabilidade portuária

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Base de Artigos</b>	<b>Período</b>	<b>Artigos utilizados na Revisão da Literatura</b>	<b>Journal</b>
Jovic et al.	2022	8178	1990-2021	280	Marine Science and Engineering
Del Giudice et al.	2022	132	1969-2020	N.A	Maritime Policy and Management
Varese et al.	2022	107	2008-2020	43	Environments
Veja-Munoz et al	2021	27	1999-2021	10	Sustainability
Cao et al.	2021	2521	1996-2020	N.A	Transportation Research Part D
Stein e al.	2020	104	2016-2020	72	Sustainability
Bjerkkan e Seter	2019	148	2010-2018	70	Transportation Research Part D
Lim et al.	2019	704	1990-2017	21	Transportation Research Part D
Sislian et al.	2016	198	1987-2013	49	Research in Transportation Business & Management
Este trabalho	2023	861	2011-2022	26	

Fonte: Elaborado pelos autores

### 3 METODOLOGIA

A ciência é um esforço cumulativo, onde novos conhecimentos são permanentemente criados num processo de interpretação e combinação do conhecimento existente. É por esse motivo que as revisões de literatura há muito desempenham um decisivo e importante papel nos estudos acadêmicos. Contudo, a qualidade das revisões de literatura são particularmente determinadas pelo rigor do processo de pesquisa bibliográfica (BROCKE *et al.*, 2009).

Esta pesquisa foi conduzida de acordo com os conceitos de uma revisão da literatura, definida por (ROWLEY; SLACK, 2004), como sendo um resumo de um campo de assunto que apoia a identificação de questões de uma pesquisa específica. Para tanto, dois componentes foram seguidos: rigor metodológico e confiabilidade/validade do processo de pesquisa.

Uma pesquisa bibliográfica determina, em grande parte, a reconstrução do conhecimento na análise subsequente da literatura, devendo, portanto, este processo de busca ser escrito de forma compreensível, pois só então os leitores poderão avaliar a abrangência da revisão e outros pesquisadores da área poderão utilizar, com mais confiança, os resultados em suas próprias pesquisas (BROCKE *et al.*, 2009; DREYER *et al.*, 2019; JOVIĆ *et al.*, 2022).

Portanto, o processo de busca foi concentrado tanto na identificação de artigos publicados em revistas com alto fator de impacto, bem como na avaliação de sua aplicabilidade ao estudo, o que requer a utilização de estudos primários da fonte de dados. A maioria dos estudos relacionados à revisão de literatura seguem protocolos específicos a depender do tipo de pesquisa. Assim, este trabalho propõe seis etapas de execução, conforme método resumido na Figura 1, tomando como referência os estudos de (AGUIAR *et al.*, 2022), (JOVIĆ *et al.*, 2022), (DREYER *et al.*, 2019), (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011) e (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011).

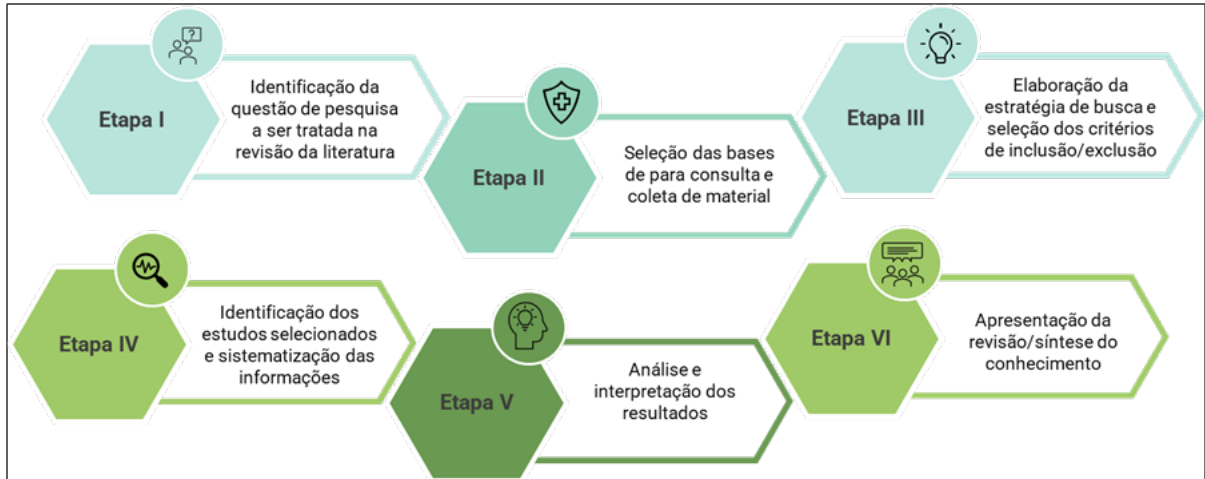


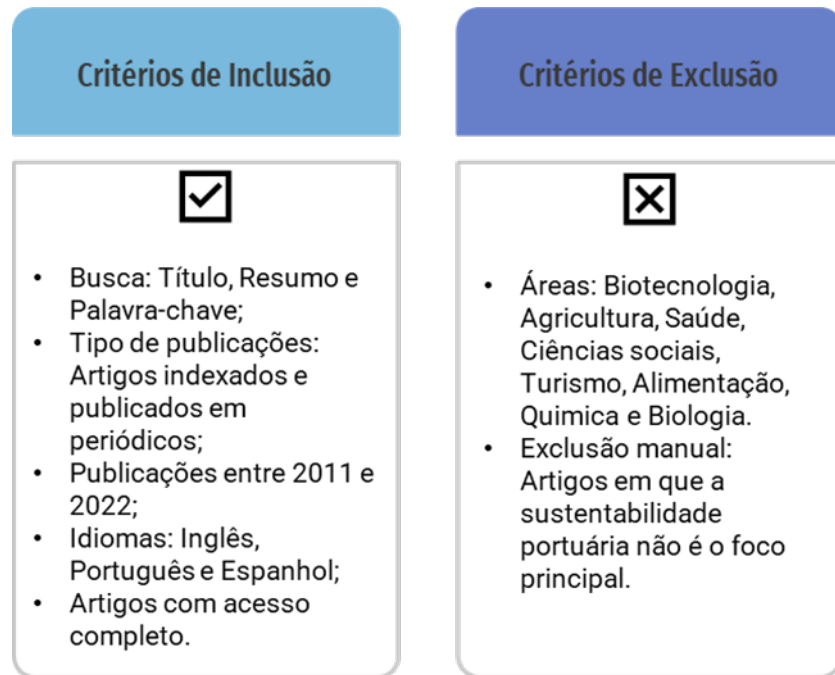
Figura 1 - Etapas do método da pesquisa

Fonte: Elaborados pelos autores

- ✓ Etapa I – para realização deste trabalho foi formulada a questão de pesquisa com base na sistemática PICO: Problema, Intervenção, Comparação e Resultados (outcome) (GALVÃO; RICARTE, 2019). Assim, o tema central da pesquisa foi delimitado por meio da seguinte questão: “Quais os principais indicadores aplicados na mensuração da sustentabilidade em terminais portuários?”.
- ✓ Etapa II – A seleção dos trabalhos vinculados ao tema pesquisa foi efetuada com rigor e de forma minuciosa, a partir da consulta nas bases de dados *Scopus e Web of Science*. Sendo estas bases escolhidas por apresentarem dados indexados e abordarem diversas áreas do conhecimento.
- ✓ Etapa III – Para estratégia de busca foi utilizado o seguinte tesauro combinando-o aos operadores booleanos *AND* e *OR*: *"port terminal" OR "ports and harbours" OR "green ports" AND sustainability OR "sustainability criteria" OR "business sustainability" OR "environmental sustainability" OR "eco-indicator" OR "environmental performance" OR "eco-efficiency" OR "corporate eco-efficiency" AND "ecological fingerprint" OR "carbon footprint" OR "decarbonization" OR "sustainable development goals"*. A consulta do tesauro se deu nos campos: título, resumo e palavra-chave.

Para seleção dos trabalhos foram propostos os seguintes critérios, apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Critérios de elegibilidade dos artigos



Fonte: Elaborados pelos autores

- ✓ Etapa IV – Para junção das bases de dados e exclusão de trabalhos duplicados foi utilizado o software “RStudio - 2022.02.0” , sendo que os estudos foram selecionados a partir das diretrizes da sistemática PRISMA conforme (PAGE *et al.*, 2021).
- ✓ Etapa V – Os resultados da pesquisa foram coletados e seus metadados foram compilados utilizando-se o pacote Bibliometrix do software “RStudio - 2022.02.0” (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Sendo os dados analisados de acordo com a localização dos artigos (país e veículo), ano de publicação, metodologia utilizada, indicadores ambientais selecionados e aplicação no setor portuário.
- ✓ Etapa VI – A partir da elaboração de tabelas, gráficos e figuras os resultados obtidos foram sintetizados e interpretados por meio de comparação textual de acordo com a aplicação dos indicadores de sustentabilidade.

## 4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os principais resultados da pesquisa, bem como busca apresentar elementos consistentes para atendimento ao objetivo proposto e a questão central do estudo.

### 4.1 Seleção de artigos

Após criteriosa análise de busca foram identificados 861 trabalhos, publicados entre os anos de 2011 e 2022, dos quais foram selecionados 26 artigos que serviram de base para os resultados desta pesquisa.

Assim, o processo de seleção dos estudos é apresentado na Tabela 2, que também consolida as etapas metodológicas II, III e IV, onde são identificados os critérios de elegibilidade dos artigos e o delineamento de exclusão dos trabalhos não aderentes à proposta desse estudo.

Tabela 2 – Critério de elegibilidade de artigos

Bases de Consulta	Resultados	Trabalhos Duplicados	Artigos excluídos pelos critérios avaliados					Análise individual: Título e Resumo
			Ano de Publicação	Artigos Não Indexados	Área de pesquisa	Idioma	Acesso completo	
<i>Scopus</i>	37	7	81	87	630	0	0	30
<i>Web of Science</i>	824							
<b>Total</b>	<b>861</b>	<b>854</b>	<b>773</b>	<b>686</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>26</b>

Fonte: Dados da pesquisa

Pode-se observar que o critério “área de pesquisa” foi um grande filtro neste processo, que em parte pode ser explicado pelo fato do tema “sustentabilidade” permear em muitas áreas, contudo, a análise efetuada por meio da “avaliação individual: títulos e resumos” consagrou a seleção dos artigos mais aderentes a este estudo.

Dentre os 26 artigos selecionados, a Figura 3 mostra que a partir do ano de 2018 houve um aumento no volume de publicações relacionadas à sustentabilidade portuária, com acentuado pico nos anos de 2021 e 2022. É possível que esse aumento seja explicado pela necessidade dos portos e terminais se adequarem às exigências da Agenda 2030 de sustentabilidade das Nações Unidas. Apesar de tardia em relação outros setores, a partir de 2021 houve esse impulsionamento.

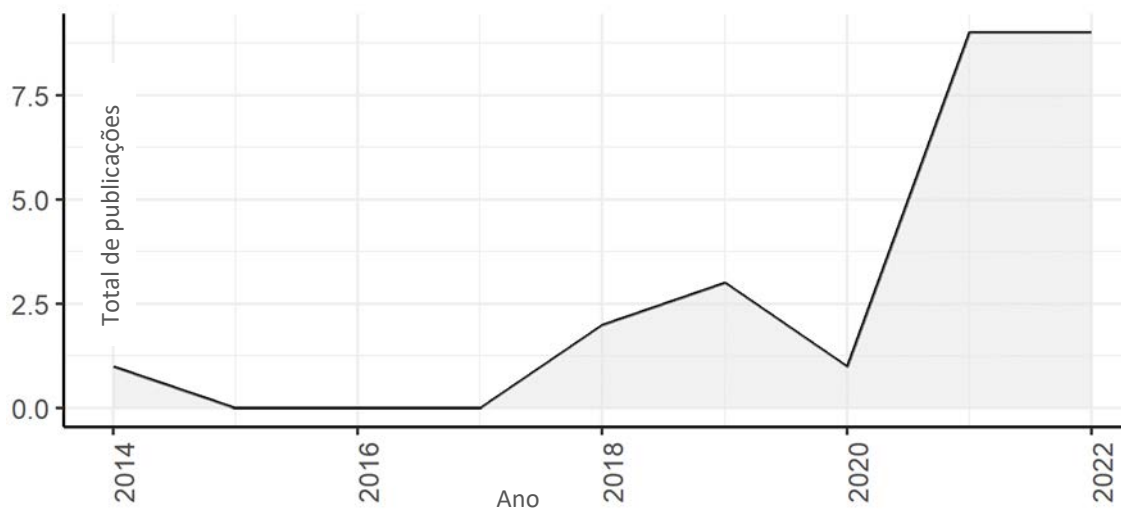


Figura 3 - Artigos publicados por ano, a partir de 2014, nas bases WoS e Scopus sobre sustentabilidade portuária

Fonte: Dados da pesquisa

Em que pese o maior interesse no tema portuário, à luz do rigor desta pesquisa, é importante ratificar o quanto os artigos selecionados estão aderentes ao tema central. Logo, num total de 238 palavras-chave adotadas nos 26 trabalhos, a Figura 4 agrupa os 10 termos mais utilizados pelos autores, temas como sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, que são empregados de forma geral em diversos outros estudos, quando associadas aos termos Desenvolvimento portuário (*Port Development*), Portos (*Port and harbours*) e indicadores de performance ambiental (*Environmental performance indicators*) indicam uma aderência positiva ao tema em questão.

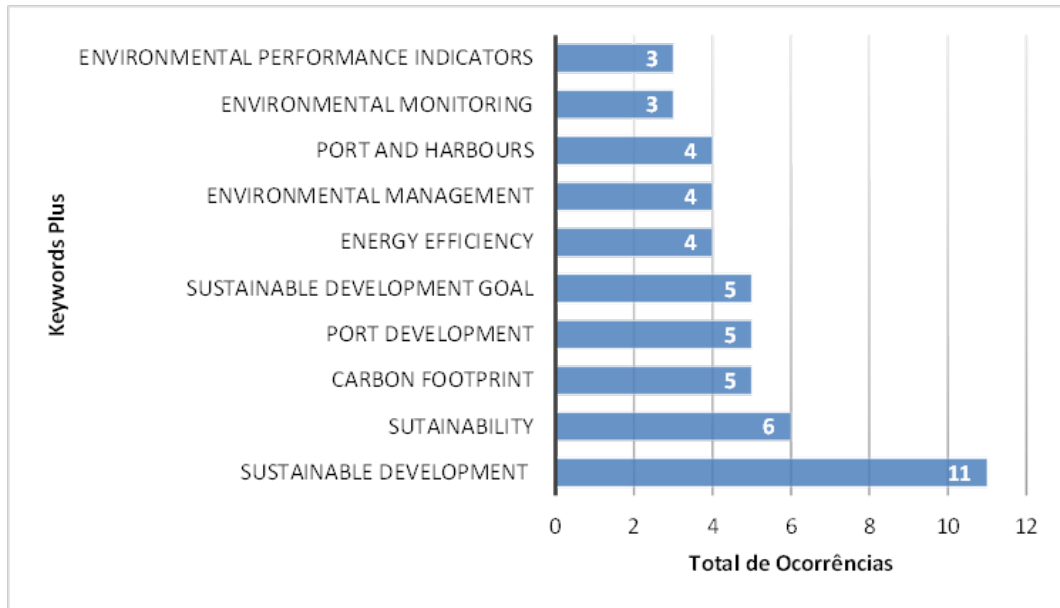


Figura 4 - Agrupamento das 10 palavras-chave mais usadas

Fonte: Dados da pesquisa

A fim de consolidar a importância do tema, na Tabela 4 são apresentados o ano da referência bibliográfica, o autor principal, o local de pesquisa e os periódicos que publicaram os trabalhos. Desta forma, foi possível analisar quais países mais têm contribuído com conhecimento, na área de pesquisa deste trabalho, bem como, ponderar sobre a relevância e o fator de impacto de cada periódico para a comunidade acadêmica.

Tabela 2 - Fator de impacto e localização dos artigos

Referência	Países dos Autores	Periódico	Fator de Impacto SJR <sup>1</sup> Quartil
Alzahrani et al., 2022	Arábia Saudita	ENERGY REPORTS	Q1
Argyriou et al., 2022	Grécia	CASE STUDIES ON TRANSPORT POLICY	Q2
Balbaa et al., 2019	Egito	SUSTAINABILITY	Q2
Braidotti & Mazzarino, 2022	Itália	LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE	Q2
Caliskan, 2022	Turquia	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	Q1
Cammin et al., 2022	China, Alemanha	FLEXIBLE SERVICES AND MANUFACTURING JOURNAL	Q1
Daniel et al., 2022	Canadá	ETransportation	Q1
Dushenko et al., 2019	Dinamarca, Noruega	SUSTAINABILITY	Q2
Franchi & Vanelslender, 2021	Belgica	SUSTAINABILITY	Q2
Gerlitz & Meyer, 2021	Estônia, Alemanha	SUSTAINABILITY	Q2
Housni et al., 2022	Estados Unidos	ENVIRONMENTAL CHALLENGES	Q3
Jansen et al., 2018	Holanda	MARITIME POLICY AND MANAGEMENT	Q2
Katuwawala & Bandara, 2022	Reino Unido	MARITIME BUSINESS REVIEW	Q2
Kong & Liu, 2021	China	OCEAN AND COASTAL MANAGEMENT	Q1
Macneil et al., 2021	Canadá	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	Q2
MacNeil et al., 2022	Canadá	SUSTAINABILITY	Q2
Pettit et al., 2018	Reino Unido	TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT	Q1
Pizzol, 2019	Dinamarca	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	Q1
Puig et al., 2014	Reino Unido	MARINE POLLUTION BULLETIN	Q1
Sifakis et al., 2021	Grécia	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	Q1
Spengler & Tovar, 2021	Espanha	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	Q1
Stein & Acciaro, 2020	Alemanha	SUSTAINABILITY	Q2
Taneja et al., 2021	Holanda	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	Q2
Varese et al., 2022	Itália	ENVIRONMENTS - MDPI	Q2
Vega-Muñoz et al., 2021	Chile	SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	Q2
Wang et al., 2021	China	TRANSPORT POLICY	Q1

<sup>1</sup> SJR - *Scimago Journal & Country Rank* - indicador de impacto do periódico, o qual mede a influência científica por meio de citações e dos periódicos onde são publicados.

Fonte: <https://www.scimagojr.com/index.php>

Em relação aos periódicos é possível perceber uma preferência pelo tema nos periódicos *Sustainability*, *Journal of Cleaner Production* e *Sustainability (Switzerland)*, os quais juntos correspondem a 46% das publicações. Tais periódicos abordam temas específicos de ciências ambientais, energia renovável, sustentabilidade e meio ambiente. Por sua vez, periódicos como *Transportation Research – Part D*, *Journal of Environmental Management* e *Ocean and Coastal Management*, contribuem com as demais publicações.

Em relação à classificação ou fator de impacto, por quartil, dos 17 periódicos 94% estão classificados como sendo de alto impacto (Q1 e Q2) e apenas 1 como Q3 considerado de médio impacto.



Os autores, por sua vez, foram identificados por país de forma a evidenciar seu local de origem e a contribuição de seus trabalhos, sendo que Canadá, Alemanha e Reino Unido respondem por 36% das publicações (3 autores cada), seguidos por Itália, Grécia, Holanda e Espanha com 2 autores cada.

## 4.2 Análise e Interpretação dos Resultados

Nesta subseção são identificados os resultados do estudo, bem como o alinhamento dos trabalhos à questão proposta na pesquisa. Assim, a partir da Tabela 5 foi realizada uma análise da metodologia de cada artigo selecionado, correlacionando os indicadores de sustentabilidade com os tipos de terminal portuário estudados. Tal análise a partir do método de pesquisa, permite explorar se houve: aplicação prática dos indicadores, indicação de uso ou proposição de estrutura conceitual.

A partir da Tabela 5 também foi possível extrair a Figura 5, a qual indica que em todos os estudos são considerados indicadores ambientais, contudo 39% dos artigos não abordaram aspectos ou indicadores sociais e 15% deixaram de relacionar critérios econômicos em suas análises, fugindo assim do conceito de sustentabilidade conforme proposto pelas Nações Unidas, estando mais alinhados na definição de Porto Verde, conforme definido por (VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021), p.4.

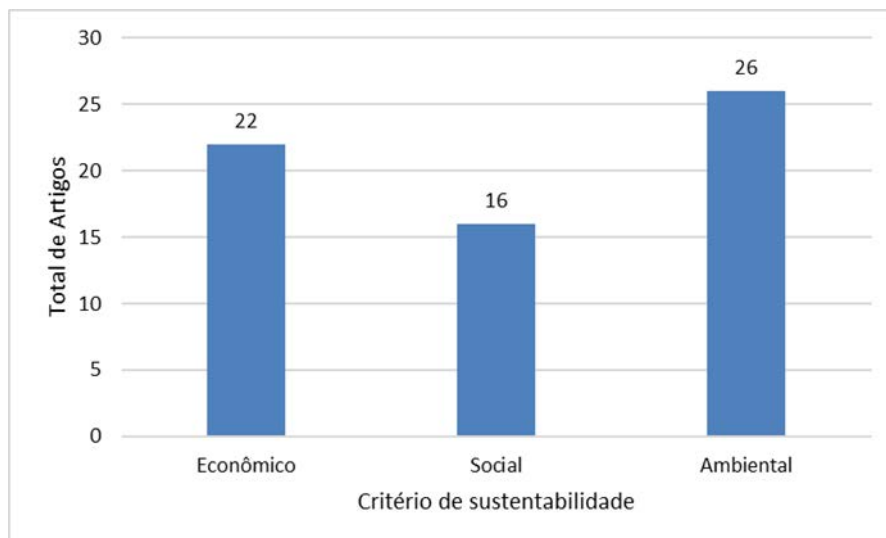


Figura 5 - Aspectos de sustentabilidade abordados

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 3 - Abordagem metodológica e métricas de sustentabilidade por tipo de terminal

Referência	Metodologia	Principais medidas de Sustentabilidade e abordadas no estudo	País/Região	Terminal portuário analisado
Alzahrani et al., 2022	Estudo conceitual	Emissão de CO2 e Utilização de Energia solar	Reino Unido	Pesqueiros
Argyriou et al., 2022	Estudo de caso	Eficiência energética, Qualidade da água, Ruído, Gerenciamento de Resíduo, Qualidade do ar e Poeira	Grécia	Passageiros Graneis
Balbaa et al., 2019	Estudo conceitual Simulação	Emissão de CO2, Utilização de Energia solar	Egito	Carga geral Containers
Braidotti & Mazzarino, 2022	Estudo de caso Análise comparativa	Emissão de CO2	Itália/Croácia - Mar Adriático	Carga geral Containers Passageiros
Caliskan, 2022	Estudo qualitativo Análise comparativa	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Europa	Carga geral Containers Graneis
Cammin et al., 2022	Modelos de previsão Estudo de caso	Emissão de CO2 e Qualidade do ar	Estados Unidos	Containers
Daniel et al., 2022	Estudo conceitual Estudo de caso	Emissão de CO2, Eficiência energética	Canadá	Carga geral Graneis
Dushenko et al., 2019	Estudo de caso Análise multicritério AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>	Emissões no solo e água, Uso de recursos naturais, Ruído, Poluição visual e Qualidade do ar	Noruega	Containers
Franchi & Vanelander, 2021	Estudo teórico Análise discreta - <i>Discrete Choice Analysis Methodology (DCA)</i>	Qualidade do ar, Ruído, Poluição da água e Consumo de recursos naturais	Europa/Ásia	Containers
Gerlitz & Meyer, 2021	Estudo Qualitativo	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Europa	Carga Geral
Housni et al., 2022	Estudo de caso Análise comparativa	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Marrocos/ Dinamarca	Carga geral Containers Graneis
Jansen et al., 2018	Estudo Qualitativo Estudo de caso	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Indonésia	Carga Geral Containers
Katuwawala & Bandara, 2022	Estudo Qualitativo Estudo de caso	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Sri Lanka	Carga Geral Containers
Kong & Liu, 2021	Estudo teórico Análise discreta - DEA	TBL - <i>Triple Bottom Line</i> - Economia, Sociedade e Meio ambiente	China	Containers
Macneil et al., 2021	Estudo conceitual Estudo quantitativo	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Canadá	Carga geral Containers Graneis
MacNeil et al., 2022	Estudo comparativo Estudo conceitual	Indicadores do <i>Green Marine Environmental Program</i> - GMEP e Critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Canadá	Carga geral Containers Graneis
Pettit et al., 2018	Estudo conceitual Estudo quantitativo	Qualidade do ar e Emissão CO2	Europa	Carga geral
Pizzol, 2019	Modelagem Estudo Comparativo	Qualidade do ar e Emissão CO2	Scandinávia	Carga geral Containers Graneis
Puig et al., 2014	Estudo qualitativo	Qualidade do ar, água, sedimentos e solo, Consumo de recursos, Emissão de CO2, Ruído e Gerenciamento de resíduos	Europa	Carga geral Containers Graneis
Sifakis et al., 2021	Estudo conceitual Otimização	Energia renovável e Emissão de CO2	Grécia	Carga geral Containers Graneis
Spengler & Tovar, 2021	Estudo de caso	Emissão de CO2	Espanha	Carga geral Containers Graneis
Stein & Acciaro, 2020	Estudo qualitativo Revisão Sistemática da Literatura	TBL - <i>Triple Bottom Line</i> - Economia, Sociedade e Meio ambiente	Análise global	Carga Geral
Taneja et al., 2021	Estudo de caso Estudo quantitativo	Qualidade do ar, Emissão de CO2 e Controle de GEE	Holanda	Carga geral Containers Graneis
Varese et al., 2022	Revisão Sistemática da Literatura	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Análise global	Porto Seco
Vega-Muñoz et al., 2021	Estudo de Meta-Análise Revisão sistemática da Literatura	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	Análise global	Carga geral
Wang et al., 2021	Estudo qualitativo Análise quantitativa	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>	China	Carga geral Empresas de Navegação

Fonte: Dados da pesquisa

Ao analisar a correlação entre método de pesquisa e a aplicação prática de métricas de sustentabilidade nos portos, 15 estudos abordaram os critérios econômico, social e ambiental, com proposições de macrocontrole de processos para alcance de metas de sustentáveis. Por sua vez, apenas 3 trabalhos tiveram como objetivo estudar a aplicação por meio de estudo de caso. Destes artigos, todos estudaram terminais de carga geral e contêineres, portos cuja vocação

operacional está voltada para grandes movimentações de cargas e muitas atracções e, portanto, com maiores impactos socioambientais.

Outros 4 estudos detalharam os aspectos de sustentabilidade por meio de comparação cruzada entre as várias fontes, logo, além da busca pelo atendimento aos 17 objetivos SDGs da Agenda 2030, outros órgãos também propõem itens de controle para garantir a sustentabilidade portuária, entre eles: PIANC – *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure*, ESPO – *The European Sea Port Organisation*, AAPA – *American Association of Port Authorities*, entre outros.

Assim, ao analisar os trabalhos que abordam os principais aspectos de sustentabilidade e ecoeficiência foi possível identificar variáveis de referência utilizadas para aferir a sustentabilidade portuária, as quais estão agrupadas na Tabela 6, a qual também busca responder ao questionamento proposto na etapa I da metodologia deste trabalho, qual seja: “Quais os principais indicadores ambientais aplicados na mensuração da sustentabilidade em terminais portuários?”.

Tabela 4 – Variáveis de referência para sustentabilidade portuária obtidas a partir da leitura dos artigos selecionados

<b>Aspectos do desempenho de sustentabilidade em um ativo de infraestrutura portuária</b>		
<b>Econômico</b>	<b>Social</b>	<b>Ambiental</b>
Preço das áreas	Emprego	Poluição do Ar
custos operacionais	Cultura	Poluição da água
Retorno dos investimentos (ROI)	Resiliencia futura	Poluição do Solo
Eficiência operacional	Envolvimento das partes interessadas	Consumo de água
Eficiência operacional portuária	Efeitos na sociedade positivos e negativos	Ruído
Rentabilidade do terminal	Equidade	Gerenciamento de resíduo
Receita operacional	Desenvolvimento regional	Energia
Benefícios operacionais	segurança	Poluição luminosa/visual
Custos de manutenção	Patrimônio histórico e cultural	Ecosistemas biológicos
Roteiro de economia circular	Cultura corporativa	Gestão do tráfego
Instalações portuárias modernizadas	Plano de desenvolvimento portuário	Uso de recursos naturais
Quant. de carga movimentada	Compliance	Probabilidade de acidentes
Impostos	Políticas de Responsabilidade social	Pegada de carbono
Taxas portuárias		Emissões GEE
		Perdas da biodiversidade
		Resiliência ecológica
		Índice de transporte limpo
		Tratamento de água de lastro
		Monitoramento ambiental
		Dragagem
		Uso de combustíveis alternativos
		Reciclagem de embarcações
		Prevenção e controle de vazamentos

Fonte: Dados da pesquisa

Dentre as proposições de controle apresentadas, nem todas são indicadores ou possuem métricas factíveis para aplicação direta, o que torna seu controle ou formas de evidenciar seu comprimento mais difíceis e pouco precisas. Logo, apenas os trabalhos (ARGYRIOU; DARAS; TSOUTSOS, 2022; DUSHENKO; BJORBAEK; STEGER-JENSEN, 2019; STEIN; ACCIARO, 2020; TANEJA; KLOOT, VAN DER; KONINGSVELD, VAN, 2021; VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) apresentaram parâmetros de cálculo ou detalhamento dos indicadores, mas nem todos abordaram os 3 critérios de sustentabilidade.

## 5 DISCUSSÃO

Esta seção apresenta uma comparação textual dos estudos analisados de acordo com os critérios de sustentabilidade portuária utilizados. Em complemento, também são vencidas as etapas V e VI da metodologia proposta.

### **A percepção de sustentabilidade e a sustentabilidade portuária**

Atualmente, existem várias contribuições acadêmicas que definem o termo desenvolvimento sustentável, as quais variam de acordo com o contexto específico de cada tema, sendo que a mais aceita e difundida foi apresentada em 1987 como resultado do Relatório Brundtland, das Nações Unidas, denominado Nosso Futuro Comum, o qual é definido como processo que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.”

No estudo de (STEIN; ACCIARO, 2020) o Relatório Brundtland é abordado, apontando para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e determinados padrões de produção e consumo, sendo sugerida a conciliação de crescimento econômico com as questões ambientais e sociais. Assim, são citadas as significativas diferenças entre a utilização dos termos “sustentabilidade” e “verde”. Embora ambos sejam usados de forma análoga, o primeiro, precisa considerar aspectos econômicos, sociais e ambientais, enquanto o segundo é focado apenas no meio ambiente.

No ponto de vista marítimo, o conceito de “porto verde”, para (WANG *et al.*, 2021) foi inicialmente proposto na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, com foco na redução das emissões de carbono. Por sua vez, (VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) ao fazerem menção aos portos verdes atribuem aspectos econômicos para explicar os benefícios da implementação de políticas ambientais e do desenvolvimento de códigos de conduta verde, que venham a nortear a governança portuária, a fim de alcançar alto nível de competitividade ambiental.

Para (TANEJA; KLOOT, VAN DER; KONINGSVELD, VAN, 2021) construir evidências empíricas sobre um ativo intangível como sustentabilidade é uma tarefa desafiadora, porém muito importante para acadêmicos marítimos e gestores portuários. Neste sentido, apontam que melhorar o desempenho da sustentabilidade portuária requer identificar todos os

aspectos relevantes que o tema exige, além de definir métricas adequadas e medidas de intervenção nos processos, quando necessário.

Não existem ferramentas padronizadas para mensuração da sustentabilidade nos portos, os quais apontam a necessidade de maior debate sobre a ótica das diretrizes da SDGs da Agenda 2030 (VARESE *et al.*, 2022).

### **Tendências em utilizar eco indicadores como métrica de sustentabilidade portuária**

Um estudo comparativo entre dois portos no Marrocos e na Dinamarca, apontaram que o uso de um sistema de maturidade da sustentabilidade ambiental, baseado em indicadores pré-definidos, fornece uma ferramenta de integração necessária para avaliar questões de sustentabilidade baseadas em semelhanças operacionais portuárias (HOUSNI *et al.*, 2022).

Numa pesquisa no Sri Lanka foram entrevistados 55 gestores portuários com a finalidade de identificar o conhecimento e as disparidades entre os padrões globais e as práticas locais de sustentabilidade. Os resultados apontaram políticas colaborativas deficientes, restrições estruturais e de mercado, além da ausência de estrutura portuária global orientada para os SDGs (KATUWAWALA; BANDARA, 2022).

Um estudo na Indonésia abordou o processo inclusivo como parte integrante das estratégias de desenvolvimento portuário. A partir da comunicação com as partes interessadas - *stakeholders*, foram levantados os impactos sociais dos portos, a fim de contribuir para sua maior aceitação social. Sendo que o discurso de crescimento inclusivo parte da identificação das questões locais determinantes para o crescimento econômico. Foi apontado ainda que os portos contribuem para os SDGs ao focar em ambições inclusivas, tais como acessibilidade por meio de conectividade, transporte, segurança e qualidade de vida (JANSEN; TULDER, VAN; AFRIANTO, 2018).

Por sua vez, (CALISKAN, 2022) analisa especificamente as questões de sustentabilidade portuária dentro da estrutura os SDGs, e ainda apresenta uma estrutura conceitual abrangente de iniciativas de sustentabilidade relacionadas ao porto para alcance das metas SDGs. Os resultados apontam que dos 17 objetivos a indústria portuária tem potencial para contribuir principalmente com 6 deles.

Com pegada na redução das emissões de carbono (PETIT-BOIX *et al.*, 2018) apontam as tendências de crescimento de emissões de dióxido de carbono por navios graneleiros e

petroleiros, bem como os impactos para desenvolvimento sustentável onde estes atuam. Por sua vez, com foco em qualidade do ar e emissão de CO<sub>2</sub> (BRAIDOTTI; MAZZARINO, 2022; PIZZOL, 2019; SPENGLER; TOVAR, 2021) analisam terminais de carga geral e contêineres a partir de métricas de controle e medição de CO<sub>2</sub>.

Com foco em utilização de energia renovável ou limpa nos portos, (DANIEL; TROVÃO; WILLIAMS, 2022; SIFAKIS; KONIDAKIS; TSOUTSOS, 2021) apontam que o desenvolvimento de tecnologias limpas é o próximo passo em direção ao processo marítimo portuário verde. Por sua vez, (ALZHRANI *et al.*, 2022; BALBAA; SWIEF; EL-AMARY, 2019) são mais específicos ao identificar parâmetros para descarbonizar as operações portuárias por meio da implementação de energia solar.

Identificando e selecionando indicadores de desempenho ambiental usados na gestão portuária sustentável o estudo de (PUIG; WOOLDRIDGE; DARBRA, 2014) avaliou a capacidade das Autoridades Portuárias em adotá-los e implementá-los.

Construindo uma estrutura de avaliação para medir a sustentabilidade das cidades portuárias a partir da relação com o sistema portuário local, os resultados de (KONG; LIU, 2021) indicam uma pequena oscilação entre essa relação, sendo em sua maioria crescente, ou seja, quanto maior o comércio e movimentação de cargas no porto aumenta-se o grau de sustentabilidade da cidade. Porém, é ressaltado que a existência de políticas públicas de capacitação de mão de obra, tecnologia etc, favorecem esse crescimento.

Com uma proposta de medir a sustentabilidade em pequenos e médios terminais portuários, (GERLITZ; MEYER, 2021) avaliaram que esses terminais estão sujeitos a terem recursos limitados e baixa produtividade, em comparação com terminais maiores e, portanto, serem menos sustentáveis. Para tanto, para efeitos de comparação são sugeridas 3 ferramentas específicas de tomada de decisão para que pudessem medir os critérios de responsabilidade ambiental, equidade social e eficiência econômica.

Seguindo a tendência em apoiar os processos de decisão, um estudo utilizou o método multicritério AHP - *Analytic Hierarchy Process* para avaliação de um modelo de sustentabilidade em um porto urbano na Escandinávia. Para tanto os indicadores chave do modelo foram baseados no julgamento de especialistas e os resultados apontaram que a inovação na governança portuária deve ser abordada além da necessidade dos portos desenvolverem estratégias de apoio ao ecossistema empresarial (DUSHENKO; BJORBAEK; STEGER-JENSEN, 2019).

Por sua vez, este trabalho identificou que à medida que as legislações nacionais, regionais e internacionais e a valorização das práticas de gestão socioambiental aumentam, mais as autoridades portuárias se envolvem no tema da sustentabilidade. Resultados similares foram observados nos trabalhos de (LIM *et al.*, 2019; STEIN; ACCIARO, 2020; VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) uma vez que consideram o desenvolvimento de estratégias sustentáveis ao longo do tempo, sobretudo a partir de pressões externas das Nações Unidas e países membros.

Quanto aos cenários regionais de cada porto, os dados apresentados sugerem um maior grau de desenvolvimento das regiões portuárias em relação a outros locais, em função dos investimentos em infraestrutura que tendem a produzir efeitos multiplicadores ao longo da cadeia produtiva.

Contudo, a necessidade de políticas colaborativas, que conduzam os grandes investimentos, a fim de atender aos princípios de uma política sustentável voltadas também para as comunidades são fatores críticos de sucesso para a sustentabilidade portuária. Em complemento, os estudos de (JANSEN; TULDER, VAN; AFRIANTO, 2018; KATUWAWALA; BANDARA, 2022) corroboram com esse resultado, uma vez que abordam que metas inclusivas para a população e políticas estruturadas para os objetivos SDGs devem ser parte integrante estrutura de gestão portuária.

No tocante aos indicadores de sustentabilidade, este estudo ainda apontou que 39% dos trabalhos avaliados não abordaram aspectos sociais, critério diretamente relacionado às comunidades locais, fato que reforça a importância de políticas públicas inclusivas e que cobrem maior compromisso da governança portuária. Os resultados de (KONG; LIU, 2021) e (GERLITZ; MEYER, 2021) reforçam esse ponto vista, uma vez que indicam a necessidade políticas voltadas para a população e maior equidade social, associadas a eficiência econômica do negócio.



## 6 CONCLUSÃO

A revisão da literatura adotada neste trabalho foi utilizada para abordar os indicadores de desempenho e avaliação portuária, também chamados de eco indicadores, destinados a mensurar a sustentabilidade portuária. Bem como para fornecer informações de cunho acadêmico que possam servir de base para pesquisas futuras.

O objetivo deste artigo foi avaliar o conhecimento atual e as publicações relevantes sobre a aplicação de ecoindicadores na gestão portuária nos principais portos mundiais. Dentre os estudos avaliados, os terminais de contêineres e de carga geral possuem maior relevância, sobretudo por sua importância para a economia e no comércio global, bem como por seus impactos nas regiões de abrangência.

Mais especificamente os resultados identificados e apresentados podem servir de subsídio e auxiliar os formuladores de políticas públicas na implementação e condução de investimentos portuários nos estados brasileiros, uma vez que foram identificados os indicadores mais relevantes sob a ótica da sustentabilidade. Sem negligenciar as particularidades regionais de cada instalação portuária, também foi possível identificar que minimizar ou negligenciar os aspectos ambientais, sociais e econômicos podem trazer impactos aos processos dos portos.

Tal estudo ainda se faz relevante para a comunidade acadêmica, sobretudo aos pesquisadores e profissionais brasileiros, pelo fato deste tema ainda ser pouco explorado no Brasil, haja vista que dentre os estudos avaliados, apenas uma pesquisa abordou portos da América do Sul, especificamente no Chile.

Os resultados e contribuições deste trabalho partem da visão geral dada aos conceitos de desenvolvimento sustentável, à luz das atividades portuárias, e se consolidam com a identificação de sua aplicação e contribuição na governança e gestão dos portos, sendo estas reconhecidas pelos estudos revisados. Como contribuições acadêmicas, a ampliação do conhecimento geral sobre sustentabilidade portuária correlacionando aos diferentes tipos de terminais portuários confirmam sua aplicabilidade e interesse de pesquisadores.

Contudo, são apresentados dos principais indicadores de sustentabilidade portuária para cada um dos aspectos de desempenho sustentável: econômico, social e

ambiental. Outrossim, com base na discussão textual dos resultados é possível extrair lacunas que permitirão outros pesquisadores se aprofundarem em novas descobertas.

Também foi possível identificar um baixo nível de detalhamento das métricas adotadas, bem como a ausência de resultados comparativos.

Outro ponto a se destacar é a grande quantidade de estudos relacionadas à redução nas emissões de CO<sub>2</sub> ou redução de gases de efeito estufa - GEE, cuja análise extrapola os limites portuárias e avançam para transporte marítimo e terrestre.

A adoção de indicadores de sustentabilidade nos portos não se trata apenas de uma ação de curto prazo, mas de uma necessidade real da indústria portuária. Cabendo aos gestores uma atenção mais abrangente quanto aos critérios de sustentabilidade das Nações Unidas, assim como de outras organizações, cujo atendimento desses critérios tem efeitos positivos no desempenho do porto.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi alcançado quando foram identificados os principais indicadores aplicados nos portos na mensuração da sustentabilidade portuária, sendo estes validados por acadêmicos por meio dos trabalhos analisados.

Em relação aos trabalhos futuros e visando o preenchimento da lacuna encontrada, sugere-se uma extensão desta pesquisa incluir nos critérios de elegibilidade estudos relacionados eventos científicos, dissertações e teses, a fim de buscar novos casos de aplicação.

### **Declaração de conflito de interesses**

Os autores declaram não haver conflito de interesses de qualquer natureza.

## REFERÊNCIAS

- ACCIARO, M. **Corporate responsibility and value creation in the port sector.** *International Journal of Logistics Research and Applications*, [s.l.], v. 18, n° 3, p. 291–311, 2015. DOI: 10.1080/13675567.2015.1027150.
- AGUIAR, R. A.; FERREIRA, R. G.; COSTA, V. L. P.; SILVA, T. D. C. R. E; SILVA, S. V. **Perspectivas das práticas de gestão de processos de negócio no contexto das tecnologias da Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura.** *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, [s.l.], 2022. ISSN: 2447-9187, 1517-0306, DOI: 10.18265/1517-0306a2022id6598.
- ALAMOUSH, A.; BALLINI, F.; DALAKLIS, D. **Port supply chain management framework: Contributing to the United Nations’ sustainable development goals.** *Maritime Technology and Research*, [s.l.], v. 3, n° 2, p. Manuscript, 2021. ISSN: 2651-205X, DOI: 10.33175/mtr.2021.247076.
- ALZHRANI, A.; PETRI, I.; GHOROUGH, A.; REZGUI, Y. **A proposed roadmap for delivering zero carbon fishery ports.** *Energy Reports*, [s.l.], v. 8, p. 82–88, 2022. ISSN: 23524847, DOI: 10.1016/j.egy.2022.01.083.
- ARGYRIOU, I.; DARAS, T.; TSOUTSOS, T. **Challenging a sustainable port. A case study of Souda port, Chania, Crete.** *Case Studies on Transport Policy*, [s.l.], v. 10, n° 4, p. 2125–2137, 2022. ISSN: 2213624X, DOI: 10.1016/j.cstp.2022.09.007.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis.** *Journal of Informetrics*, [s.l.], v. 11, n° 4, p. 959–975, 2017. ISSN: 1751-1577, DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- BICHOU, K.; GRAY, R. **A critical review of conventional terminology for classifying seaports.** *TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE*, [s.l.], v. 39, n° 1, p. 75–92, 2005. ISSN: 0965-8564, DOI: 10.1016/j.tra.2004.11.003.
- BJERKAN, K. Y.; SETER, H. **Reviewing tools and technologies for sustainable ports: Does research enable decision making in ports?** *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, [s.l.], v. 72, p. 243–260, 2019. ISSN: 13619209, DOI: 10.1016/j.trd.2019.05.003.
- BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. **O Método da Revisão Integrativa no Estudos Organizacionais.** *Gestão e Sociedade*, [s.l.], v. 5, n° 11, p. 121, 2011. ISSN: 1980-5756, DOI: 10.21171/ges.v5i11.1220.
- BRAIDOTTI, L.; MAZZARINO, M. **A Study on Ports’ Emissions in the Adriatic Sea.** *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, [s.l.], v. 13381 LNCS, p. 98–108, 2022. ISBN: 9783031105470, ISSN: 03029743, DOI: 10.1007/978-3-031-10548-7\_8.
- BROCKE, J. Vom *et al.* **Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process.** [s.l.], n° 161, p. 14, 2009.

- CALISKAN, A. **Seaports participation in enhancing the sustainable development goals.** *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 379, 2022. ISSN: 09596526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134715.
- CAO, J.; LI, S.; NOLAND, R. B.; GE, Y.-E. **The first 25 years of Transportation Research Part D: Transport and Environment.** *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, [s.l.], v. 100, 2021. ISSN: 13619209, DOI: 10.1016/j.trd.2021.103078.
- DANIEL, H.; TROVÃO, J. P. F.; WILLIAMS, D. **Shore power as a first step toward shipping decarbonization and related policy impact on a dry bulk cargo carrier.** *eTransportation*, [s.l.], v. 11, 2022. ISSN: 25901168, DOI: 10.1016/j.etrans.2021.100150.
- DEL GIUDICE, M.; DI VAIO, A.; HASSAN, R.; PALLADINO, R. **Digitalization and new technologies for sustainable business models at the ship–port interface: a bibliometric analysis.** *Maritime Policy and Management*, [s.l.], v. 49, n° 3, p. 410–446, 2022. ISSN: 03088839, DOI: 10.1080/03088839.2021.1903600.
- DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. **Revisão sistemática: noções gerais.** *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, [s.l.], v. 45, n° 5, p. 1260–1266, 2011. ISSN: 0080-6234, DOI: 10.1590/S0080-62342011000500033.
- DREYER, S.; OLIVOTTI, D.; LEBEK, B.; BREITNER, M. H. **Focusing the customer through smart services: a literature review.** *Electronic Markets*, [s.l.], v. 29, n° 1, p. 55–78, 2019. ISSN: 1019-6781, 1422-8890, DOI: 10.1007/s12525-019-00328-z.
- FERRARIO, F. *et al.* **Ecosystem-Based Quality Index in a harbor bay: Assessing the status of a heterogeneous system in a functional framework at a local scale.** *Ecological Indicators*, [s.l.], v. 132, 2021. ISSN: 1470160X, DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108260.
- GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. **Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação.** *Logeion: Filosofia da Informação*, [s.l.], v. 6, n° 1, p. 57–73, 2019. ISSN: 2358-7806, DOI: 10.21728/logcion.2019v6n1.p57-73.
- HOUSNI, F.; BOUMANE, A.; RASMUSSEN, B. D.; BRITEL, M. R.; BARNES, P.; ABDELFETTAH, S.; LAKHMAS, K.; MAURADY, A. **Environmental sustainability maturity system: An integrated system scale to assist maritime port managers in addressing environmental sustainability goals.** *Environmental Challenges*, [s.l.], v. 7, 2022. ISSN: 26670100, DOI: 10.1016/j.envc.2022.100481.
- JANSEN, M.; TULDER, R. VAN; AFRIANTO, R. **Exploring the conditions for inclusive port development: the case of Indonesia.** *Maritime Policy and Management*, [s.l.], v. 45, n° 7, p. 924–943, 2018. ISSN: 03088839, DOI: 10.1080/03088839.2018.1472824.
- JOVIĆ, M.; TIJAN, E.; BRČIĆ, D.; PUCIHAR, A. **Digitalization in Maritime Transport and Seaports: Bibliometric, Content and Thematic Analysis.** *Journal of Marine Science and Engineering*, [s.l.], v. 10, n° 4, p. 486, 2022. ISSN: 2077-1312, DOI: 10.3390/jmse10040486.
- KATUWAWALA, H. C.; BANDARA, Y. M. **System-based barriers for seaports in contributing to Sustainable Development Goals.** *Maritime Business Review*, [s.l.], v. 7, n° 3, p. 255–269, 2022. ISSN: 23973757, DOI: 10.1108/MABR-02-2021-0007.

KONG, Y.; LIU, J. **Sustainable port cities with coupling coordination and environmental efficiency.** *Ocean and Coastal Management*, [s.l.], v. 205, 2021. ISSN: 09645691, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105534.

LARA, J. C. De; AREND, S. C.; OLIVEIRA, E. A. de A. Q. **Economia Ecológica e o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) no Estado de Mato Grosso/ The Ecological Economy and the State Solid Waste Plan (PERS) in the state of Mato Grosso, in Brazil.** *Informe GEPEC*, [s.l.], v. 26, nº 1, p. 211–220, 2022. ISSN: 1679-415X, 1676-0670, DOI: 10.48075/igepec.v26i1.27839.

LIM, S.; PETTIT, S.; ABOUARGHOUB, W.; BERESFORD, A.; BUILDING, A.; DRIVE, C. **Port Sustainability Performance: A Systematic Literature Review.** [s.l.], v. 72, p. 47–64, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.009>.

MACNEIL, J. L.; ADAMS, M.; WALKER, T. R. **Development of framework for improved sustainability in the canadian port sector.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, nº 21, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su132111980.

MAŃKOWSKI, C.; CHARŁAMPOWICZ, J. **Managing maritime container ports' sustainability: A reference model.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, nº 18, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su131810030.

PAGE, M. J. *et al.* **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** *BMJ*, [s.l.], p. n71, 2021. ISSN: 1756-1833, DOI: 10.1136/bmj.n71.

PUIG, M.; WOOLDRIDGE, C.; DARBRA, R. M. **Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development.** *Marine Pollution Bulletin*, [s.l.], v. 81, nº 1, p. 124–130, 2014. ISSN: 0025326X, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.02.006.

RINCÓN, E.; WELLENS, A. **Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas.** *Revista internacional de contaminación ambiental*, [s.l.], v. 27, nº 4, p. 333–345, 2011. ISSN: 0188-4999.

ROWLEY, J.; SLACK, F. **Conducting a literature review.** *Management Research News*, [s.l.], v. 27, nº 6, p. 31–39, 2004. ISSN: 0140-9174, DOI: 10.1108/01409170410784185.

SIFAKIS, N.; KONIDAKIS, S.; TSOUTSOS, T. **Hybrid renewable energy system optimum design and smart dispatch for nearly Zero Energy Ports.** *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 310, 2021. ISSN: 09596526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127397.

SISLIAN, L.; JAEGLER, A.; CARIOU, P. **A literature review on port sustainability and ocean's carrier network problem.** *Research in Transportation Business & Management*, [s.l.], v. 19, p. 19–26, 2016. ISSN: 22105395, DOI: 10.1016/j.rtbm.2016.03.005.

SPENGLER, T.; TOVAR, B. **Potential of cold-ironing for the reduction of externalities from in-port shipping emissions: The state-owned Spanish port system case.** *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 279, 2021. ISSN: 03014797, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111807.

TANEJA, P.; KLOOT, G. R. VAN DER; KONINGSVELD, M. VAN. **Sustainability performance of port infrastructure—a case study of a quay wall.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, n° 21, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su132111932.

UNCTAD. **Key performance indicators for ports and the shipping fleet.** *Review of Maritime Transport 2021*. [s.l.]: United Nations, 2021. p. 87–107. ISBN: 978-92-1-000097-0, DOI: 10.18356/9789210000970c008.

VADAKKEPATT, G. G. *et al.* **Sustainable Retailing.** *Journal of Retailing*, [s.l.], v. 97, n° 1, p. 62–80, 2021. ISSN: 00224359, DOI: 10.1016/j.jretai.2020.10.008.

VARESE, E.; BUX, C.; AMICARELLI, V.; LOMBARDI, M. **Assessing Dry Ports' Environmental Sustainability.** *Environments - MDPI*, [s.l.], v. 9, n° 9, 2022. ISSN: 20763298, DOI: 10.3390/environments9090117.

VEGA-MUÑOZ, A.; SALAZAR-SEPULVEDA, G.; ESPINOSA-CRISTIA, J. F.; SANHUEZA-VERGARA, J. **How to measure environmental performance in ports.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, n° 7, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su13074035.

WANG, X.; WONG, Y. D.; LI, K. X.; YUEN, K. F. **Shipping industry's sustainability communications to public in social media: A longitudinal analysis.** *Transport Policy*, [s.l.], v. 110, p. 123–134, 2021. ISSN: 0967070X, DOI: 10.1016/j.tranpol.2021.05.031.

WBATUBA, B.; SILVEIRA, D.; DEPONTI, C.; AREND, S. C. **Práticas sustentáveis para legitimação organizacional no território: a opção entre a perspectiva da economia ambiental ou da economia ecológica /sustainable practices for organizational legitimation in the territory: the choice between the environmental economy or the ecological economy perspective.** *Informe GEPEC*, [s.l.], v. 26, n° 3, p. 144–165, 2022. ISSN: 1679-415X, 1676-0670, DOI: 10.48075/igepec.v26i3.29777.

## **ARTIGO 2 - MENSURAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA PORTUÁRIA: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA A PARTIR DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO**

Artigo em processo de submissão para a Revista *Sustainability – MPDI Journals*. Classificação Qualis/CAPES – A2.

Autores: Renato Armani Aguiar, Romeu e Silva Neto, Milton Erthal Junior

### **RESUMO**

A ecoeficiência é um anseio comum entre empresas que almejam a sustentabilidade. Neste sentido, a indústria portuária tem elencado esforços na adoção de práticas de governança direcionadas a sustentabilidade de seus processos, sobretudo na redução do uso de recursos naturais e emissão de gases de efeito estufa. Motivado pela escassez de estudos práticos que avaliem a ecoeficiência em portos, este trabalho tem por objetivo, mensurar a ecoeficiência portuária a partir da análise do ciclo de vida do processo, propondo um único índice de eficiência, chamado IRE – Índice Relativo e Ecoeficiência, aplicado em um terminal portuário de apoio às operações de óleo e gás. Para tanto, o estudo foi apoiado pelo método denominado *Ecological Fingerprint*, tomando como base os dados operacionais de 2022 em um porto localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro – Brasil. Os resultados apontaram para a eficiência do método, na comparação mensal da sustentabilidade portuária, bem como destaca a importância do detalhamento do ciclo de vida do processo para a seleção dos ecoindicadores. Assim, foi possível analisar lacunas, tanto nos processos de engenharia quanto na gestão, servindo também como ferramenta de suporte aos gestores, com foco em processos mais sustentáveis. Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir com a comunidade acadêmica, bem como servir de referência na mensuração da ecoeficiência em outras indústrias.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Ecoeficiência, Análise do Ciclo de Vida, Sustentabilidade, Gestão Portuária

## **ABSTRACT**

Eco-efficiency is a common desire among companies that aim for sustainability. In this sense, the port industry has listed efforts to adopt governance practices aimed at the sustainability of its processes, especially in reducing the use of natural resources and the emission of greenhouse gases. Motivated by the scarcity of practical studies that evaluate eco-efficiency in ports, this work aims to measure port eco-efficiency based on the analysis of the life cycle of the process, proposing a single efficiency index, called IRE - Relative Eco-efficiency Index, applied in a port terminal to support oil and gas operations. Therefore, the study was supported by the method called Ecological Fingerprint, based on operational data from 2022 in a port located on the north coast of the state of Rio de Janeiro - Brazil. The results pointed to the efficiency of the method, in the monthly comparison of port sustainability, as well as highlighting the importance of detailing the life cycle of the process for the selection of ecoindicators. Thus, it was possible to analyze gaps, both in engineering processes and in management, also serving as a support tool for managers, focusing on more sustainable processes. Finally, it is expected that this work can contribute to the academic community, as well as serve as a reference in measuring eco-efficiency in other industries.

## **KEYWORDS**

Eco-efficiency, Life Cycle Analysis, Sustainability, Port Management



## 1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo representou, em 2022, 80% do volume do comércio global, cenário representado tanto pelas viagens marítimas, quanto pelas operações portuárias. Embora o transporte marítimo seja considerado um modo ecológico em termos de emissões por quilometro, seus impactos não podem ser desprezados. Neste sentido, há algum tempo a logística marítima tem despertado atenção para seus impactos relacionados às mudanças climáticas e sustentabilidade. Entre 2007 e 2012, o transporte marítimo global representou 2,8% das emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE, o dobro das emissões do transporte aéreo. Sendo que os impactos são mais perceptíveis nas regiões costeiras, sobretudo nos portos e áreas de fundeio, devido a maior proximidade com áreas populacionais (BERGQVIST & MONIOS, 2018; LIM *et al.*, 2019; UNCTAD, 2022).

Os portos têm desempenhado um papel maior que simplesmente manusear a carga no cais, suas estratégias operacionais estão interligadas às partes interessadas - *stakeholders* nas diversas esferas, desde local ao global. Embora alguns portos ainda optem por não atuar além das regulamentações ambientais de sua cidade ou país, suas atividades e ações exercem influências sociais e ambientais significativas, que ultrapassam suas áreas operacionais, o que obrigatoriamente integra a gestão portuária ao cotidiano regional (HOUSNI *et al.*, 2022; UNCTAD, 2022b).

Ao citar o termo sustentabilidade portuária, a poluição do ar notadamente se destaca na literatura, dado a ênfase ligada às mudanças climáticas provocadas pelos GEE. Contudo, existem outros desafios ambientais, para os chamados Portos Verdes, os quais assumem comportamentos ambientalmente sustentáveis e eficientes, por meio de estratégias e indicadores eficazes, tais como: ruído, poeira, resíduos e poluição da água e solo. É fundamental que a gestão portuária, seja ampla e aborde a proteção do ecossistema por meio de planos de sustentabilidade portuária e regulamentos específicos de planejamento ambiental (ALZHRANI *et al.*, 2022; CAMMIN; YU; VOSS, 2022; DUSHENKO; BJORBAEK; STEGER-JENSEN, 2019; SCHIPPER *et al.*, 2021)

A crescente pressão ambiental ao longo das últimas 5 décadas, desde a Conferência de Estocolmo em 1972 à COP-27 no Egito em 2022, tem conduzido a gestão portuária para ações progressivas no desenvolvimento sustentável, uma vez que um porto que opera com alto nível de sustentabilidade tem maiores chances de atrair apoio do governo, da comunidade e de potenciais investidores. A sustentabilidade na indústria portuária necessita de ferramentas para

avaliação de desempenho, a fim de adotar a sustentabilidade ambiental como estratégia organizacional, apoiando assim os gestores portuários (HOUSNI *et al.*, 2022).

Nessa busca por minimizar os impactos socioambientais provocados pelas atividades industriais, tem se consolidado o conceito de ecoeficiência, definida pelo *World Business Council for Sustainable Development* – WBCSD, como a competitividade na produção e colocação no mercado de bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas, melhorando a qualidade de vida, minimizando os impactos ambientais e a intensidade do uso de recursos naturais, considerando todo ciclo de produção. (GOBBI *et al.*, 2019;HAHN *et al.*, 2010;PEREIRA *et al.*, 2014;RINCÓN; WELLENS, 2011).

Portanto, esta pesquisa está alinhada aos atuais desafios ambientais, que por meio do uso de ferramentas e métodos para a mensuração de eco desempenho, tornam-se indispensáveis para uma melhor gestão ambiental dos terminais. Contudo, sua aplicação deve estar alinhada aos objetivos estratégicos dos portos e ao seu programa de gestão ambiental, os quais contemplam ações de educação ambiental, contribuindo para um bom funcionamento portuário.

Este estudo tem por objetivo mensurar a ecoeficiência em um terminal portuário de apoio às operações de Exploração e Produção de óleo e gás, por meio da aplicação da metodologia de avaliação de ciclo de vida associada ao conceito *Ecological Fingerprint*. O estudo propõe a utilização de um único índice de eficiência, chamado de IRE – Índice Relativo e Ecoeficiência, calculado a partir dos principais indicadores ambientais portuários.

Como resultado, espera-se identificar variáveis ambientais do processo que necessitem de melhorias, sejam nos processos de engenharia ou na gestão, de forma a agregar valor aos serviços portuários. Para tanto, foram analisados os dados em um terminal portuário localizado no litoral Sudeste do Brasil, ao norte do Estado do Rio de Janeiro.

## **1.1 Ecoeficiência Corporativa e Análise do Ciclo de Vida**

O termo sustentabilidade corporativa considerado pelo Relatório Brundtland de 1987, da *United Nations World Commission on Environmental and Development* é definido como uma estratégia de negócios que busca as melhores práticas para atender as necessidades dos atuais e futuros stakeholders. Isso implica na complexa tarefa de fornecer resultados competitivos no curto prazo, em paralelo se busca proteger, preservar e aumentar os recursos humanos e naturais necessários no futuro. Portanto, a sustentabilidade corporativa – CSP - *Sustainability*

*Performance* mensura até que ponto uma empresa incorpora fatores econômicos, socioambientais e de governança em suas operações, bem como mede os impactos que eles exercem sobre a empresa e a sociedade (ARTIACH *et al.*, 2010;FREITAS *et al.*, 2019).

Não há padrões ou normas internacionais que direcionem a condução da análise de ecoeficiência, mas existem inúmeras ferramentas e métodos que podem ser combinados para sua avaliação em produtos e processos. A Tabela 1 ilustra uma comparação entre características dos métodos mais adotados na literatura para mensuração de ecoeficiência. Dessa forma, é possível verificar que não há um método perfeito que avalie cada cenário ambiental, econômico e social, contudo caberá ao pesquisador avaliar o melhor método a ser empregado em seu estudo.

Tabela 1 - Características comparativas entre diferentes metodologias de avaliação de ecoeficiência

Principais metodologias usadas na avaliação da ecoeficiência	Vantagens e Características	Desvantagens	Estudos que aplicaram ou analisaram ecoeficiência a partir dos métodos identificados
Método de avaliação da relação econômico-ambiental - <i>Economic-environmental ratio evaluation method</i>	1 - Método tradicional e amplamente difundido 2 - Simples de calcular e de fácil entendimento	1 - Vulnerável a sazonalidades 2 - Pode ignorar a contribuição de outros fatores eco-eficientes 3 - Possui baixa representatividade dos indicadores	Ifaei <i>et al.</i> , 2020; Mickwitz <i>et al.</i> , 2006
Método de análise não paramétrica com Análise Envoltória de Dados - <i>Nonparametric analysis method with DEA - Data Envelopment Analysis</i>	1 - Podem ser usados em diferente cenários, com múltiplas entradas e saídas e diferentes unidades, desde que sejam obedecidos parâmetros estritos 2 - Podem ser aplicados em dados qualitativos 3 - São fáceis de entender	1 - Não é sistemático 2 - Quando o tamanho da amostra é insuficiente, dificulta a seleção da escolha correta 3 - É possível que a informação seja perdida, porque os dados coletados se tornam informações qualitativas 4 - O resultado é um valor relativo e não absoluto 5 - Não suporta valores negativos	Ge <i>et al.</i> , 2021; Besir e Aldea 2019; Zhang e Xu, 2022, Sala-Garrido <i>et al.</i> , 2021
Impressão Ecológica - <i>Ecological footprint</i>	1 - Método simples de aplicar e de fácil entendimento 2 - Possui ampla possibilidade de aplicações 3 - Permite avaliar e comparar diferentes unidades de medida	1 - Não reflete a tendências futuras 2 - O resultado é um valor relativo e não absoluto 3 - O critério de atribuição de pesos às variáveis pode ser questionado	Morales <i>et al.</i> , 2006; Sailing <i>et al.</i> , 2002; Pereira., 2014; Kharitonov <i>et al.</i> , 2022), Dyckhoff <i>et al.</i> , 2015
Avaliação e Análise do Índice de Eco-eficiência - <i>Evaluation and analysis of eco-efficiency index</i>	1 - Os ecoindicadores permitem uma análise de eficiência de projetos em diferentes dimensões, mais próximas do cenário real.	1 - A avaliação e a determinação da eficiência relativa são complexas 2 - Fatores subjetivos podem influenciar o índice 3 - A quantidade de entradas e saídas devem ser a mesma	Susanto <i>et al.</i> , 2021; Hamid <i>et al.</i> , 2019
Método de análise de Parâmetros - <i>Parameter analysis method</i>	1 - Mais adequado para previsão de longo prazo do agregado econômico 2 - Requisitos mais simples para tratamento dos dados	1 - O método não suporta a sobreposição de dados da amostra sob diferentes fatores de entrada. O que gera uma grande lacuna na interpretação dos resultados.	Liu <i>et al.</i> , 2022; Liu <i>et al.</i> , 2022
Análise de Fluxo de Material - <i>Substance Flow Analysis (SFA)</i>	1 - Busca na equiparação de sistemas industriais e sistemas bióticos, o conceito de "metabolismo industrial". 2 - Fornece um bom índice de desenvolvimento sustentável e pressão ambiental, compensando as limitações causadas por unidades monetárias	1 - Enfraquece as ligações entre os impactos ambientais causadas pelo fluxo dos materiais 2 - Considera as mudanças no meio ambiente e no sistema econômico e não analisa o fluxo de materiais dentro do sistema.	Zhang <i>et al.</i> , 2023; Baranauskaitė-Fedorova <i>et al.</i> , 2023; Lim <i>et al.</i> , 2023; Liu <i>et al.</i> , 2022.

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Ge *et al.*, (2021)

Os estudos baseados em ecoeficiência (ALEJANDRINO; MERCANTE; BOVEA, 2022; BIDOKI *et al.*, 2006; BUDZINSKI; SISCA; THRAEN, 2019; CUTRIM; ROBLES; PAIVA, DE, 2020; MAJEWSKI *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2014; SALING *et al.*, 2002; ZHANG; XU, 2022) possuem em comum a comparação de diferentes produtos ou processos sob a perspectiva da Análise de Ciclo de Vida - ACV. A ACV pode subsidiar a identificação de oportunidades para melhoria no desempenho ambiental de produtos e

processos em diversas etapas do seu ciclo, além disso pode auxiliar na escolha de indicadores de desempenho ambiental significativos. Contudo a ACV objetiva aspectos ambientais e seus potenciais impactos, não priorizando aspectos econômicos ou sociais (NBR ISO 14040, 2009), reforçando assim a necessidade de combinar outras metodologias para a análise da ecoeficiência.

Portanto, o acréscimo da dimensão econômica aumenta a complexidade de uma avaliação ambiental, porém aumenta a robustez e acrescenta um aspecto de relevante importância para decisões corporativas nas empresas. De forma resumida a literatura aborda a ecoeficiência sob três aspectos principais: 1-atribuir valor ao produto ou serviço; 2 – otimizar o uso de recursos; e 3 - reduzir o impacto ambiental. Cada um destes aspectos apresentam oportunidades econômicas, o que torna sua abordagem importante para as empresas (ARTIACH *et al.*, 2010;FREITAS *et al.*, 2019;VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021).

A análise da ecoeficiência avalia o ciclo de vida desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até disposição final. Contudo, o nível de detalhamento depende do objeto e uso pretendido no estudo. A profundidade e a abrangência da ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo em particular (NBR ISO 14040, 2009).

Os indicadores ambientais quando selecionados a partir da análise do ciclo de vida, também consideram a importância social atribuída às diferentes formas de impacto ambiental, normalmente, efetuados com base em pesquisas de opinião pública ou de especialistas do setor. Portanto, deve-se tomar o cuidado na utilização de fatores influenciados pela sociedade que possam ser refletidos nos ecoindicadores, para que não haja viés ou tendência em sua avaliação (BIDOKI *et al.*, 2006;SOUZA *et al.*, 2022).

Um dos métodos encontrados na literatura para mensurar o impacto ambiental é chamado de *Ecological Fingerprint*, conceito aplicado pela empresa BASF, o qual apresenta um conjunto de ecoindicadores com aplicação na indústria química e outras indústrias, com o objetivo avaliar processos ecoeficientes a partir de ferramentas comuns de fácil utilização e entendimento, sendo representado por gráficos tipo “radar” (SALING *et al.*, 2002). A metodologia da ecoeficiência proposta pela BASF, é uma análise comparativa, não determinando a sustentabilidade de um produto ou processo, contudo compara a sustentabilidade de um produto em relação a outras alternativas ou ao mesmo produto ao longo do tempo (UHLMAN; SALING, 2010).

A avaliação da ecoeficiência por meio do método *Ecological Fingerprint* é apenas uma das formas apresentadas na literatura, (ZHANG; XU, 2022) utilizaram a metodologia DEA – *Data Envelopment Analysis* para avaliação de ecoeficiência, a partir da análise do Ciclo de Vida. Por sua vez, (ALEJANDRINO; MERCANTE; BOVEA, 2022) consolidam a análise conjunta dos dados por meio de matriz qualitativa de custo versus impacto ambiental. O estudo de (BUDZINSKI; SISCA; THRAEN, 2019), referente identificação de novas tecnologias, localização ótima e processos multifuncionais para uma biorefinaria, utilizam programação linear combinada a análise do ciclo de vida. Por sua vez, (ESTRADA-GONZALEZ *et al.*, 2020; IBANEZ-FORES *et al.*, 2021; MAJEWSKI *et al.*, 2020) avaliam a ACV em diferentes processos, porém apresentam gráficos individuais para seus indicadores ambientais.

Destaca-se ainda a análise crítica efetuada por (DYCKHOFF; QUANDEL; WALETZKE, 2015) ao método *ecological fingerprint*, os quais introduziram uma “alternativa irrelevante” (indicador), porém realista, e compararam os resultados. O estudo comprovou a violação do axioma da racionalidade “independência de alternativas irrelevantes” e indicaram como os pesos no processo de agregação devem ser ajustados para evitar essa possível falha.

Contudo, diante dos estudos analisados é importante destacar que uma análise de ecoeficiência fornece um método científico para auxiliar tanto consumidores quanto empresas a escolher produtos e serviços certos entre diferentes alternativas, na busca em otimizar custos e impacto ambiental. Porém, é necessário que sejam efetuadas escolhas assertivas dos indicadores, para uma correta análise da ecoeficiência ambiental, pelo fato de que uma falha nessa escolha, pode permitir a manipulação dos resultados por razões subjetivas e/ou políticas e potencializar uma escolha inadequada de uma alternativa.

## **1.2 Gerenciamento Ambiental Portuário**

### **1.2.1 Ecoindicadores Portuários e Cálculo da Ecoeficiência**

Para atender à crescente demanda pública frente às questões ambientais, alguns portos estão aprimorando seus sistemas de planejamento e controle operacional, intensificando a gestão ambiental, para que esta possibilite mensurar e reduzir seus impactos e custos associados ao baixo desempenho ambiental, buscando otimizar sua comunicação e seu relacionamento com seus *stakeholders*, os quais podem ser definidos como as partes interessadas ou grupo de

indivíduos que, de uma forma ou de outra, apresentam algum nível de interesse nos projetos, atividades e resultados de uma determinada organização (SCIBERRAS; SILVA, 2018).

Embora possam ser atribuídas outras finalidades, o maior propósito do controle ambiental é proporcionar aos portos normalidade nas operações. Como reflexos dos controles, *à priori*, os portos devem atender as partes interessadas, responder aos requisitos legais e atingir seus objetivos estratégicos. Com isso, passam a: satisfazer as necessidades de diferentes grupos de interesses, coordenar a atuação desses diferentes agentes e ainda atingir suas metas (BASURKO; MESBAHI, 2014; DI VAIO; VARRIALE, 2018; RHEDE VAN DER KLOOT, VAN, 2019).

Para atendimento às demandas ambientais é necessário uma rigorosa seleção e medição dos indicadores ambientais, uma vez que o resultado das análises será compartilhado e questionado pelos *stakeholders*. Assim, não há na literatura um consenso sobre quais indicadores devem ser usados, pois existem a particularidade de cada processo e das comunidades no entorno do porto, que podem definir indicadores específicos. Por isso, deve-se tomar todo cuidado nessa seleção, a fim de evitar tendências errôneas nas análises, conforme as apontadas por (DYCKHOFF; QUANDEL; WALETZKE, 2015) em seu estudo.

O método desenvolvido pela empresa BASF, descrito por (SALING *et al.*, 2002), aponta que os impactos ambientais de um processo são determinados com base em seis diferentes categorias de impactos ambientais: 1 – Consumo de matérias-primas; 2 – Consumo de energia; 3 – Emissões resultantes dos processos; 4 – Potencial de toxicidade do processo; 5 – Potencial risco do processo e 6 – Uso da área.

Contudo Pereira *et al.*, (2014) efetuaram uma análise complementar ao estudo de (SALING *et al.*, 2002) aplicando o método *ecological fingerprint* em planta petroquímica e numa indústria textil respectivamente. Para tanto, foram propostos novos ecoindicadores, em complemento ao estudo de caso da BASF, quais sejam: 1 – Consumo de água; 2 – Consumo de energia; 3 – Emissão de CO<sub>2</sub>, 4 – Geração de efluentes e 5 – Geração de resíduos. O estudo ainda apresenta como proposta da utilização desses ecoindicadores para qualquer indústria, com adequação apenas na variável econômica de interesse da indústria monitorada.

Ao analisar artigos publicados, entre 2014 e 2022, em periódicos específicos das áreas de ciências ambientais, energia renovável, sustentabilidade, meio ambiente e transportes foram identificadas algumas variáveis de referência utilizadas para mensurar a sustentabilidade portuária, comprovando a abrangências dos indicadores adotados por (PEREIRA *et al.*, 2014) também para a área portuária. Neste sentido, a Tabela 2 apresenta a relação de estudos avaliados, onde buscou-se identificar a partir da mensuração de ecoeficiência, quais as

principais medidas de sustentabilidade foram consideradas. Destaca-se que a maioria dos autores optaram por considerar a busca pelo atendimento aos 17 objetivos SDGs – *Sustainable Development Goals*, aprovados pela Assembleia das Nações Unidas em setembro de 2015.

Tabela 2 – Principais Aspectos de Ecoeficiência Portuária abordadas na literatura

Referência	Título	Principais medidas de Sustentabilidade abordadas no estudo
Alzahrani et al.,2022	A PROPOSED ROADMAP FOR DELIVERING ZERO CARBON FISHERY PORTS	Emissão de CO2 e Utilização de Energia solar
Argyriou et al., 2022	CHALLENGING A SUSTAINABLE PORT A CASE STUDY OF SOUDA PORT CHANIA CRETE	Eficiência energética, Qualidade da água, Ruído, Gerenciamento de Resíduo, Qualidade do ar e Poeira
Balbaa et al.,2019	SMART INTEGRATION BASED ON HYBRID PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR CARBON DIOXIDE EMISSION REDUCTION IN ECOPORTS	Emissão de CO2, Utilização de Energia solar
Braidotti & Mazzarino,2022	A STUDY ON PORTS EMISSIONS IN THE ADRIATIC SEA	Emissão de CO2
Caliskan, 2022	SEAPORTS PARTICIPATION IN ENHANCING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Cammin et al., 2022	TIERED PREDICTION MODELS FOR PORT VESSEL EMISSIONS INVENTORIES	Emissão de CO2 e Qualidade do ar
Daniel et al., 2022	SHORE POWER AS A FIRST STEP TOWARD SHIPPING DECARBONIZATION AND RELATED POLICY IMPACT ON A DRY BULK CARGO CARRIER	Emissão de CO2, Eficiência energética
Dushenko et al., 2019	APPLICATION OF A SUSTAINABILITY MODEL FOR ASSESSING THE RELOCATION OF A CONTAINER TERMINAL A CASE STUDY OF KRISTIANSAND PORT	Emissões no solo e água, Uso de recursos naturais, Ruído, Poluição visual e Qualidade do ar
Franchi & Vanelslander, 2021	PORT GREENING DISCRETE CHOICE ANALYSIS INVESTIGATION ON ENVIRONMENTAL PARAMETERS AFFECTING CONTAINER SHIPPING COMPANIES BEHAVIORS	Qualidade do ar, Ruído, Poluição da água e Consumo de recursos naturais
Gerlitz & Meyer, 2021	SMALL AND MEDIUMSIZED PORTS IN THE TENT NETWORK AND NEXUS OF EUROPE'S TWIN TRANSITION THE WAY TOWARDS SUSTAINABLE AND DIGITAL PORT SERVICE ECOSYSTEMS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Housni et al., 2022	ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MATURITY SYSTEM AN INTEGRATED SYSTEM SCALE TO ASSIST MARITIME PORT MANAGERS IN ADDRESSING ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY GOALS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Jansen et al., 2018	EXPLORING THE CONDITIONS FOR INCLUSIVE PORT DEVELOPMENT THE CASE OF INDONESIA	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Katuwawala & Bandara, 2022	SYSTEMBASED BARRIERS FOR SEAPORTS IN CONTRIBUTING TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Kong & Liu, 2021	SUSTAINABLE PORT CITIES WITH COUPLING COORDINATION AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY	TBL - <i>Triple Bottom Line</i> - Economia, Sociedade e Meio ambiente
Macneil et al., 2021	DEVELOPMENT OF FRAMEWORK FOR IMPROVED SUSTAINABILITY IN THE CANADIAN PORT SECTOR	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
MacNeil et al., 2022	EVALUATING THE EFFICACY OF SUSTAINABILITY INITIATIVES IN THE CANADIAN PORT SECTOR	Indicadores do <i>Green Marine Environmental Program</i> - GMEP e Critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Pettit et al., 2018	REVISITING HISTORY CAN SHIPPING ACHIEVE A SECOND SOCIOTECHNICAL TRANSITION FOR CARBON EMISSIONS REDUCTION	Qualidade do ar e Emissão CO2
Pizzol, 2019	DETERMINISTIC AND STOCHASTIC CARBON FOOTPRINT OF INTERMODAL FERRY AND TRUCK FREIGHT TRANSPORT ACROSS SCANDINAVIAN ROUTES	Qualidade do ar e Emissão CO2
Puig et al., 2014	IDENTIFICATION AND SELECTION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDICATORS FOR SUSTAINABLE PORT DEVELOPMENT	Qualidade do ar, água, sedimentos e solo, Consumo de recursos, Emissão de CO2, Ruído e Gerenciamento de resíduos
Sifakis et al., 2021	HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM OPTIMUM DESIGN AND SMART DISPATCH FOR NEARLY ZERO ENERGY PORTS	Energia renovável e Emissão de CO2
Spengler & Tovar, 2021	POTENTIAL OF COLDIRONING FOR THE REDUCTION OF EXTERNALITIES FROM INPORT SHIPPING EMISSIONS THE STATEOWNED SPANISH PORT SYSTEM CASE	Emissão de CO2
Stein & Acciaro, 2020	VALUE CREATION THROUGH CORPORATE SUSTAINABILITY IN THE PORT SECTOR A STRUCTURED LITERATURE ANALYSIS	TBL - <i>Triple Bottom Line</i> - Economia, Sociedade e Meio ambiente
Taneja et al., 2021	SUSTAINABILITY PERFORMANCE OF PORT INFRASTRUCTURE A CASE STUDY OF A QUAY WALL	Qualidade do ar, Emissão de CO2 e Controle de GEE
Varese et al., 2022	ASSESSING DRY PORTS ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Vega-Muñoz et al., 2021	HOW TO MEASURE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IN PORTS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>
Wang et al., 2021	SHIPPING INDUSTRYS SUSTAINABILITY COMMUNICATIONS TO PUBLIC IN SOCIAL MEDIA A LONGITUDINAL ANALYSIS	17 critérios de SDG - <i>Sustainable Development Goals</i>

Fonte: Dados da pesquisa

Por sua vez, em complemento, a Tabela 3 resume cada um dos aspectos de desempenho sustentáveis apresentados nos artigos referenciados na Tabela 2.

Tabela 3 - Variáveis de referência para sustentabilidade portuária

Aspectos do desempenho de sustentabilidade em um ativo de infraestrutura portuária		
Econômico	Social	Ambiental
Preço das áreas	Emprego	Poluição do Ar
custos operacionais	Cultura	Poluição da água
Retorno dos investimentos (ROI)	Resiliência futura	Poluição do Solo
Eficiência operacional	Envolvimento das partes interessadas	Consumo de água
Eficiência operacional portuária	Efeitos na sociedade: positivos e negativos	Ruído
Rentabilidade do terminal	Equidade	Gerenciamento de resíduo
Receita operacional	Desenvolvimento regional	Energia
Benefícios operacionais	Segurança	Poluição luminosa/visual
Custos de manutenção	Patrimônio histórico e cultural	Ecossistemas biológicos
Roteiro de economia circular	Cultura corporativa	Gestão do tráfego
Instalações portuárias modernizadas	Plano de desenvolvimento portuário	Uso de recursos naturais
Quant. de carga movimentada	Compliance	Probabilidade de acidentes
Impostos	Políticas de Responsabilidade social	Pegada de carbono
Taxas portuárias		Emissões GEE
		Perdas da biodiversidade
		Resiliência ecológica
		Índice de transporte limpo
		Tratamento de água de lastro
		Monitoramento ambiental
		Dragagem
		Uso de combustíveis alternativos
		Reciclagem de embarcações
		Prevenção e controle de vazamentos

Fonte: Dados da pesquisa

Em que pese a generalização do conceito *ecological fingerprint*, para o setor portuário, houve a necessidade de validar tais indicadores sob a ótica dos processos portuários, sobretudo para mitigar potenciais lacunas identificadas no método e indicadas por (DYCKHOFF; QUANDEL; WALETZKE, 2015). Assim, a pesquisa desenvolvida por Puig *et al.*, (2021) em sinergia com a ESPO – *European Sea Ports Organisation*, apresentou um conjunto de critérios para avaliação ambiental de portos europeus, com destaque para a seção que aborda as questões de monitoramento ambiental. Neste contexto, por meio de autoavaliação, foram classificadas por ordem de prioridade ambiental as 10 principais preocupações ambientais a serem monitoradas na visão dos gestores portuários.

Assim, para terminais considerados de pequeno porte, aqueles cuja movimentação de cargas é inferior a 5 milhões de toneladas/ano, os quais se assemelham ao terminal deste estudo, a classificação das prioridades foram: 1 - Eficiência energética; 2 – Qualidade do ar; 3 – Ruído; 4 – Mudança climática; 5 – Tratamento dos resíduos dos barcos; 6 – Qualidade da água; 7 – Tratamento dos resíduos do porto; 8 – Relacionamento com a comunidade local; 9 – Poeira; e 10 – Desenvolvimento portuário.



Portanto, é possível verificar no Tabela 4 que os indicadores apresentados nos estudos de (PEREIRA *et al.*, 2014) e (SALING *et al.*, 2002) estão contidos nos 10 critérios ambientais mais relevantes para o setor portuário, conforme apontado no estudo de (PUIG *et al.*, 2021), que por sua vez também estão dentro dos 17 objetivos SDGs. De forma complementar, a (UNCTAD, 2004) orienta que as empresas que forem relatar sua ecoeficiência, considerem ao menos os seguintes elementos: uso de energia; uso de água; contribuição para o aquecimento global; contribuição para a destruição da camada de ozônio e resíduos.

Tabela 4 - Propostas de ecoindicadores em diferentes visões de abrangência

Pesquisa de Referência	Saling et al., (2002)	Pereira et al., (2014)	Puig et al., (2022)
<b>Proposta de abrangência</b>	Visão comparativa para seleção de processos com menor impacto ambiental	Visão de monitoramento de processo, permitindo a comparação em diferentes períodos e benchmark com outras indústrias	Visão das variáveis ambientais mais relevantes sob a ótica portuária
<b>Indicadores de Ecoeficiência</b>	Consumo de energia Emissão de CO2 Emissão de Água (Efluentes) Resíduos sólidos Consumo de matérias primas	Consumo de água Consumo de energia Emissão de CO2 Geração de efluentes Geração de resíduos	Eficiência energética Qualidade do ar Ruído Mudança climática Tratamento dos resíduos dos barcos Qualidade da água Tratamento dos resíduos do porto Relacionamento com a comunidade local Poeira Desenvolvimento portuário

Fonte: Elaborados pelos autores

Logo, entende-se que a utilização dos ecoindicadores propostos por (PEREIRA *et al.*, 2014), podem ser adotados como métricas para o setor portuário, justificados pela aderência ao processo de monitoramento ambiental das atividades portuárias.

## 2 METODOLOGIA

Para atendimento ao objetivo proposto, este estudo foi conduzido em um terminal portuário se apoio às operações de óleo e gás no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, por meio do método de análise de ecoeficiência denominado *Ecological Fingerprint*, considerado por (SALING *et al.*, 2002) o qual utiliza a ACV - Análise do Ciclo de Vida de um produto ou processo para determinar de forma comparativa sua ecoeficiência, sendo utilizado os critérios das Normas ISO 14.040 e 14.044. Contudo, além dos requisitos normativos, foi necessário aprimoramentos que permitissem adequações ao processo portuário.

Este estudo considerou dados operacionais do ano de 2022, coletados *in loco*, no terminal analisado, o qual promove o fornecimento de suprimentos, equipamentos e todo tipo de recursos necessários para manutenção e garantia das operações a bordo das plataformas de produção e sondas de perfuração. A metodologia utilizada neste trabalho, como referência e parâmetro na mensuração da ecoeficiência portuária, está representada pela Figura 1, a qual apresenta o esquema baseado no método *Ecological Fingerprint*.

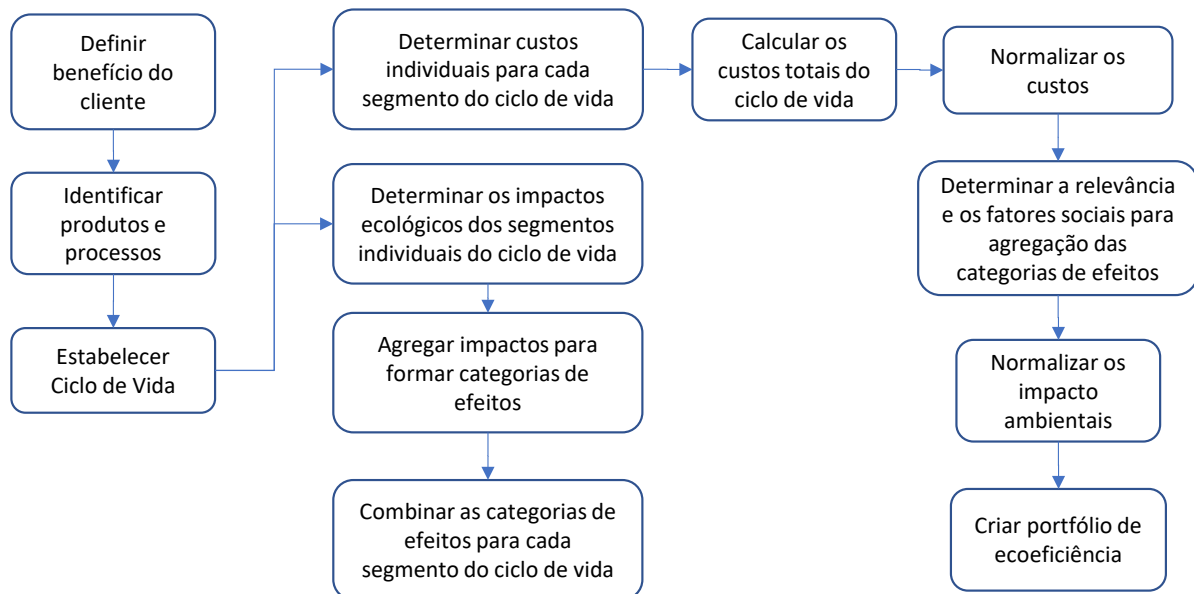


Figura 1 - Esquema para análise de ecoeficiência baseado no modelo *Ecological Fingerprint*

Fonte: Modelo proposto a partir de (SALING *et al.*, 2002)

A primeira etapa da análise da ecoeficiência consiste em definir o benefício para o cliente ou unidade funcional, sendo para este estudo o próprio terminal portuário. A análise do

processo fornece o ponto de partida para comparar entradas e saídas econômicas e ambientais, sendo que um menor valor na relação desempenho ambiental/fator econômico, representa o ganho potencial para o porto.

O método *ecological fingerprint* é uma análise comparativa, portanto, é necessário considerar o maior número de alternativas e/ou produtos, que possam desempenhar a mesma função, de forma que possam ser comparadas entre si. Todavia, para este estudo será considerado um único processo, o qual será comparado em diferentes meses do ano (Jan/Dez 2022), a comparação irá avaliar quais meses do ano houve melhor desempenho ambiental.

Uma vez definido o processo, a análise ecológica começa com a caracterização do ciclo de vida, onde são mapeadas entradas e saídas do processo. Neste sentido, a Figura 2 apresenta um esquema do ciclo do processo portuário analisado. Este trabalho, não vislumbra a comparação entre processos, mas sim do monitoramento e impressão dos impactos ambientais de um processo já consolidado.

Para análise e definição dos custos do processo portuário, foram consultados os indicadores estabelecidos pela ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário no SDP - Sistema de Desempenho Portuário, o qual exerce controle das operações de recebimento, processamento e divulgação dos dados portuários dos principais portos no Brasil. Além da ANTAQ, também foram consultadas variáveis econômicas adotadas para o comércio marítimo internacional conforme a (UNCTAD, 2021).

De forma geral, os indicadores econômicos portuários tomam como base os preços e tarifas praticados pelos terminais e sua razão pelo total de carga movimentada ou o tempo operacional com a embarcação atracada. Assim, para este estudo será considerado o indicador econômico utilizado no terminal analisado denominado “Tarifa Portuária” expresso em US\$/tonelada movimentada.

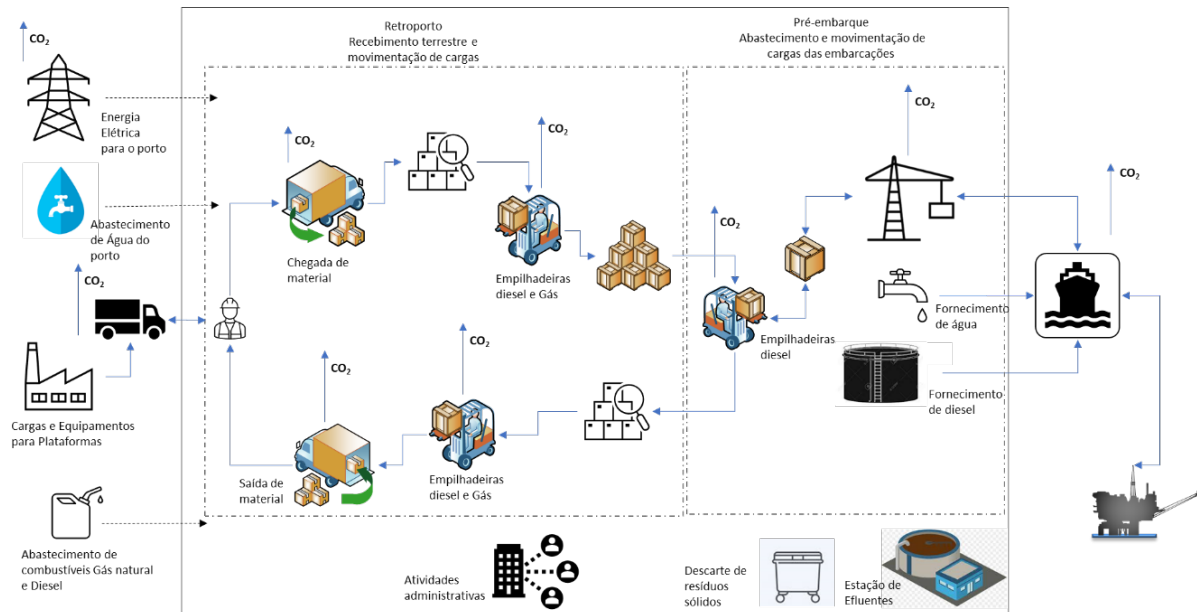


Figura 2 - Visão geral do ciclo de vida operacional em um terminal portuário de apoio *offshore*

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos estudos de (MACNEIL; ADAMS; WALKER, 2022; PEREIRA *et al.*, 2014; PUIG *et al.*, 2021; SALING *et al.*, 2002; STEIN; ACCIARO, 2020; VEGA-MUÑOZ *et al.*, 2021) os indicadores ambientais considerados na análise buscam identificar de forma conjunta as variáveis mais representativas para o processo portuário, para que de forma sistêmica e unificada possam representar a ecoeficiência do terminal. Logo, os ecoindicadores considerados foram:

- *Consumo de energia elétrica* – total mensal de energia elétrica primária consumida na base portuária. Sendo representada na unidade (GJ)
- *Emissão de CO<sub>2</sub>* – total mensal de emissão de CO<sub>2</sub> (combustão) na base portuária, considerando equipamentos portuários, carretas e embarcações. Sendo representada na unidade (t CO<sub>2</sub>)
- *Consumo de água* – total mensal de água consumida no porto, fornecida para embarcações e utilizada nos processos. Sendo representada na unidade (m<sup>3</sup>)
- *Geração de efluentes* – total mensal de efluentes líquidos emitidos pela base portuária mais o volume recebido das embarcações e tratados pelo terminal. Sendo representada pela unidade (m<sup>3</sup>)
- *Geração de resíduos* – total mensal de resíduos sólidos emitidos na base acrescido dos resíduos recebidos das embarcações. Sendo representada na unidade (t)

Destaca-se que a estimativa de emissão de CO<sub>2</sub>, não consiste em um cálculo direto, sendo adotado como referência o método apresentado por (EGGLESTON *et al.*, 2006) no *IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*, onde adotou-se o método *Top Down* para obtenção dos valores mais próximos para emissão de CO<sub>2</sub>, sendo este também adotado pelo Governo Brasileiro para elaboração do Inventário Nacional de Gases Poluentes.

O método *Top Down* baseia-se nas emissões de dióxido de carbono a partir da quantificação e identificação do consumo de energia e emissões GEE de forma agregada, permitindo uma visão generalizada do uso de cada fonte (D'AGOSTO; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2017). Por sua vez, (RODRIGUES; SILVA FILHO, 2016) destacam que nesta metodologia não se distingue o uso do combustível por categoria (setor), mas estima-se o total de CO<sub>2</sub> obtido por meio do consumo de um determinado volume.

Para tanto, este método, basicamente, é composto por 3 etapas para o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub>, a saber:

#### 1. Conversão para unidade comum

Todo consumo de combustível deve ser convertido para uma unidade comum, conforme Equação 1:

$$CC = CA * F_{conv} * 45,2 * 10^{-3} * F_{corr} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

CC = consumo de energia em Tera Joule (Tj).  $1_{tep(Brasil)} = 45,2 * 10^{-3} \text{ Tj}$

CA = consumo de combustível em  $m^3$

$F_{conv}$  = Fator de conversão da unidade de medida do combustível para tep – tonelada equivalente de petróleo, tomando como base o poder calorífico superior (PCS) do combustível.

$F_{corr}$  = Fator de correção do PCS para PCI (poder calorífico inferior). Os valores do fator de conversão adotados estão conforme EPE, (2021), sendo: diesel (0,848 tep/m<sup>3</sup>); gás natural seco (0,88 tep/10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>) e

De acordo com o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Sendo para combustíveis sólido e líquidos o  $F_{corr} = 0,95$  e para combustíveis gasosos o  $F_{corr} = 0,90$ .

## 2. Conteúdo de carbono

Refere-se a quantidade de carbono emitida na queima do combustível, conforme apresentada na Equação 2.

$$QC = CC * F_{emiss} * 10^{-3} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

QC = Conteúdo de carbono expresso em tonelada de carbono (GgC)

$F_{emiss}$  = fator de emissão de carbono (tC/TJ). Valores extraído da tabela 1.3 do IPCC em Eggleston *et al.*, (2006) p. 1.21, sendo: Diesel (20,2 tC/Tj) e Gás natural seco (15,3 tC/Tj).

$10^{-3}$  = tC/GgC (Giga gramas de Carbono)

## 3. Emissões de CO<sub>2</sub>

Por fim, devem ser calculadas as emissões de dióxido de carbono. Considerando os pesos moleculares do carbono e o oxigênio, respectivamente, 12 e 16 tem-se que o peso molecular do CO<sub>2</sub> é 44. Portanto, o 44 t de CO<sub>2</sub> corresponde a 12 t de C ou 1 t de CO<sub>2</sub> = 0,2727 t C.

Portanto, a equação 3 sintetiza o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub>.

$$ECO_2 = QC * 44/12 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

ECO<sub>2</sub> = Emissão de dióxido de carbono

QC = Quantidade de carbono

Assim, sendo os demais ecoindicadores coleta direta de dados primários, a caracterização dos impactos sociais efetuada pelo método *ecological fingerprint* propõe a ponderação a partir da atribuição de peso para cada indicador ambiental considerado, ou seja, a partir da opinião da sociedade e/ou de especialistas, é realizado uma avaliação qualitativa para cada impacto a fim de definir um peso ou importância para cada indicador.

Esta atribuição de peso é uma etapa crítica deste método, conforme relatado por (DYCKHOFF, H.; QUANDEL; WALETZKE, 2015), pois um erro pode potencializar uma variável irrelevante ou de baixo impacto, violando o Axioma da Racionalidade de Von Neumann-Morgenstern, o qual considera que as preferências de um tomador de decisão são racionais e previsíveis.

Uma vez que este estudo considera um único processo operacional e não diferentes produtos em processos distintos, será assumido que todos os ecoindicadores possuem o mesmo peso específico, portanto o mesmo impacto social. Logo, assemelhando-se ao estudo de (PEREIRA *et al.*, 2014), a comparação do conjunto de ecoindicadores em períodos diferentes será feita por meio da plotagem de um gráfico radar a partir dos dados normalizados, tal qual o método *ecological footprint*, porém com o acréscimo de que a área formada pela figura do gráfico funcionará como um índice, o qual foi denominado de IRE – Índice Relativo de Ecoeficiência.

Para tanto, os indicadores são normalizados, a fim de garantir um adimensionamento das variáveis, uma vez que cada indicador possui uma unidade específica.

A normalização é uma técnica empregada como preparação de dados, com objetivo de mudar os valores de um conjunto de dados para usar uma unidade comum, sem distorcer as diferenças nos intervalos de valores, nem perder informações. Para tanto, divide-se o pior cenário (maior valor) pelos demais valores do período da mesma variável. Dessa forma, elimina-se o efeito da escala tendo como resultados valores no intervalo entre 0 e 1.

Por fim, os resultados a análise são apresentados de duas formas, sendo a primeira por meio da área do gráfico radar, e a segunda em um diagrama de ecoeficiência (portfólio de avaliação), ilustrando a relação normalizada entre os diferentes meses do ano, com base no custo e no impacto ambiental.

### 3 RESULTADOS

Esta pesquisa utilizou dados operacionais primários coletados no período de janeiro/22 a dezembro/22, obtidos a partir dos indicadores mensais registrados nos sistemas do terminal portuário, sendo que estes também são utilizados na apuração dos resultados contábeis e de desempenho do porto.

Como variável econômica foi considerada a tarifa portuária praticada pelo terminal, representada pela razão dos custos primários pela movimentação de cargas no mês, identificada na Tabela 5, a qual ainda apresenta informações operacionais gerais que foram utilizadas no estudo.

As informações referentes a movimentação de cargas e atracções, apresentadas na Tabela 5, são dados comuns à maioria dos portos e igualmente poderiam ser adotadas como variável econômica do modelo.

Tabela 5 – Movimentações e tarifas portuárias praticadas ao longo de 2022

Informações Gerais do Porto	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Total de carga movimentada (t)	65847	72669	79338	88904	72687	85515	104106	76837	96821	101890	87910	71299
Total de atracções no mês (barco)	213	212	213	204	202	225	213	204	210	218	230	227
Tempo médio de atracção (h)	10,3	10,0	9,0	10,1	10,1	11,5	10,1	10,2	10,8	10,9	11,4	10,7
Total de carretas no terminal (carreta)	2805	3027	3126	3316	3126	3278	3415	2724	3106	3467	3563	2564
Tempo médio de permanência das carretas (h)	2,6	2,3	2,8	2,8	3,2	3,3	3,9	2,8	2,6	2,8	3,6	3,7
Tarifa Portuária (US\$/ton)	46,35	40,33	50,34	38,12	47,20	38,27	30,89	43,93	16,04	28,99	40,41	52,01

Fonte: Elaborado pelos autores

Os custos primários do terminal representam o somatório dos custos fixos e variáveis, considerados dentro do ciclo de movimentação de carga, sendo que ao final do período contábil do mês é efetuada a razão pelo total de tonelada de carga movimentada.

De acordo com os resultados, no mês de setembro/22 foi registrada a menor tarifa portuária do ano, contudo não significa que tenha havido maior movimentação de cargas em relação aos demais meses, uma vez que encargos, multas, reajustes contratuais, entre outras variáveis do processo podem influenciar nos custos de cada mês. Da mesma forma, o mês de dezembro/22, que teve a maior tarifa, também não teve a menor movimentação, pela mesma razão. Dessa forma, a tarifa portuária pode ser considerada como uma variável econômica representativa do ciclo de vida econômico do processo.



Quanto às variáveis do processo produtivo, o consumo de energia, conforme indicado na Figura 3, foi calculado a partir do medidor central do terminal instalado na entrada do porto, o qual registra toda energia que chega na base e, portanto, consumida no processo e nas áreas administrativas. Cabe destacar que o porto possui geradores elétricos à diesel, os quais são acionados em caso de emergência ou quando ocorre interrupção do fornecimento externo. Logo, quando registrado o acionamento dos geradores, foram somadas a geração de energia elétrica ao processo no mês correspondente, bem como o consumo de diesel.

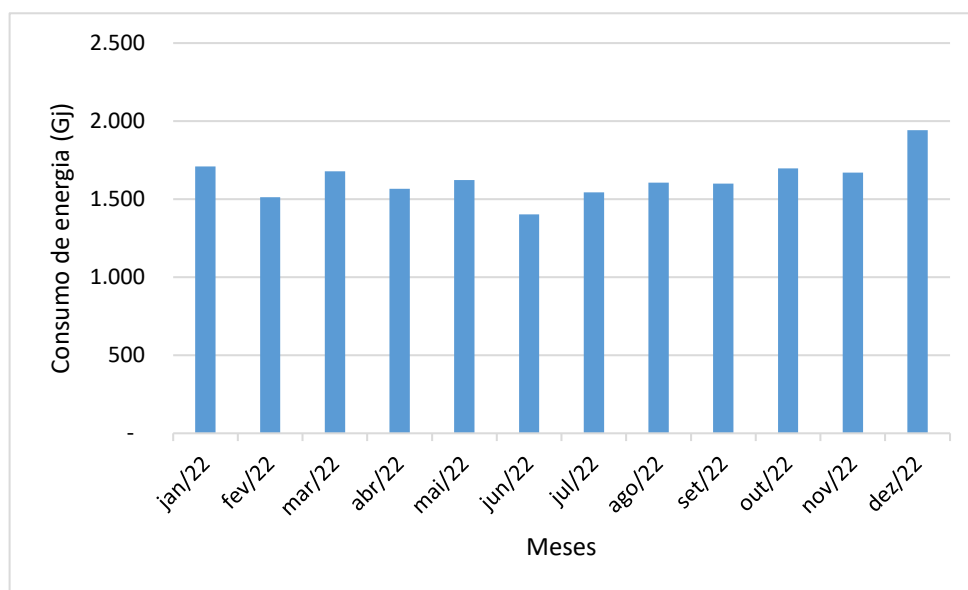


Figura 3 - Consumo de energia primária no ciclo de vida do processo

Estando a natureza do processo portuário de apoio *offshore* atrelada ao fornecimento de suprimentos para unidades produtoras de óleo e gás, a água é considerada um dos principais insumos operacionais, sendo seu fornecimento muitas vezes efetuado pelo porto. Assim, a Figura 4 ilustra o consumo total de água do terminal, o qual considera toda água consumida na base, somada ao volume fornecido às embarcações (água fornecida como insumo para as plataformas), sendo que em cada berço de atracação há um medidor de vazão que contabiliza o volume fornecido para cada barco.

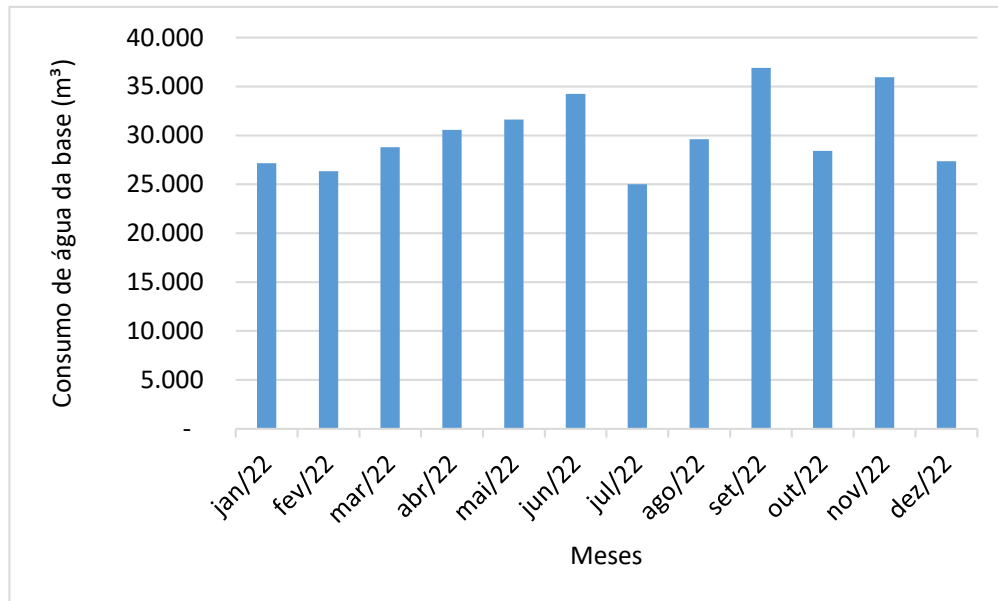


Figura 4 - Consumo total de água no terminal durante o ciclo de vida do processo

A geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos estão representadas na Figura 5 e consideram, além dos produtos gerados internamente no porto, todo material desembarcado das unidades *offshore* (plataformas e sondas) que são destinados para descarte como lixo. Sendo que este tratamento e destinação fazem parte do escopo da atividade portuária.

Em relação a geração de efluentes líquidos, em que pese o fato do mês de janeiro/22 ter apresentado maior volume anual, o 2º semestre apresentou maior constância na geração, justificada pelo maior acúmulo de água fluvial tratada em decorrência de um maior período de chuvas.

Por sua vez, a geração de resíduos sólidos manteve uma constância ao longo no ano, havendo destaque para o mês de novembro/22 influenciado por uma demanda pontual das unidades marítimas num processo de desmobilização operacional.

A geração de resíduos sólidos pode apresentar variabilidade em sua geração, pois sua maior geração é originada nas plataformas de E&P, tal efeito é potencializado quando há paradas de manutenção ou reforma de instalações, o que naturalmente, acarreta geração de resíduos.

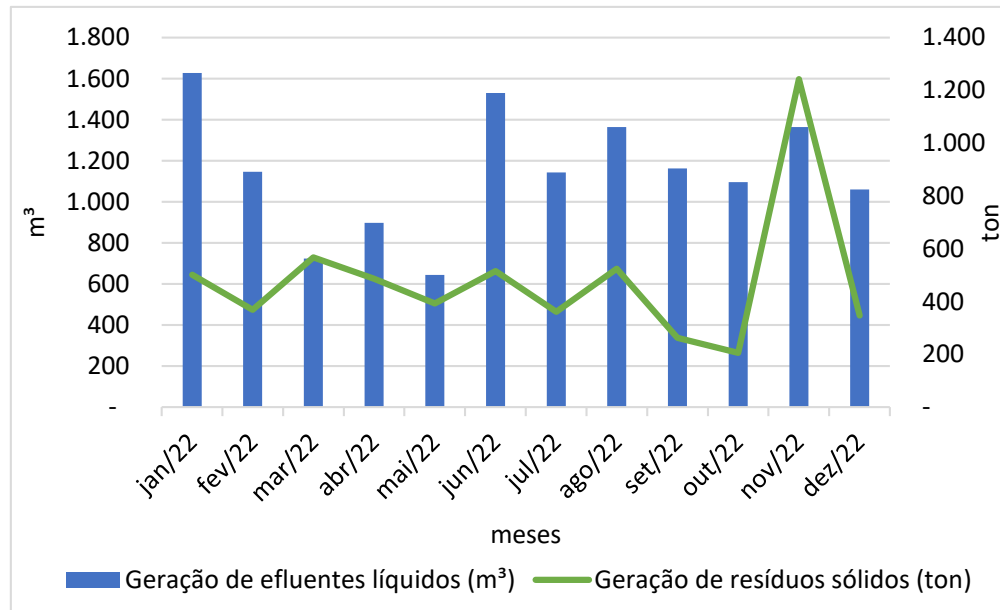


Figura 5 - Geração de efluentes e resíduos durante o ciclo de vida do processo no porto

O consumo de combustíveis fósseis ao longo do ciclo de vida do processo portuário é apresentado pela Tabela 6, e sua queima está associada como uma das principais fontes de emissão de CO<sub>2</sub> no porto e consequente contribuição para efeito estufa.

A coleta de dados deste estudo foi efetuada a partir dos consumos de óleo diesel e gás natural no processo operacional, sendo abordado o quantitativo mensal de veículos que circulam no terminal, bem como dos equipamentos portuários que fazem uso desses combustíveis. Além dos consumos internos também foi considerado o consumo das carretas externas e das embarcações enquanto atracadas. Destaca-se a necessidade de estimar o consumo de diesel no período que as embarcações permanecem atracadas, pois estas permanecem com os geradores de energia ligados para alimentação dos sistemas de auxiliares.

Tabela 6 - Consumo de combustíveis fósseis ao longo do ciclo de vida do processo

Consumo de combustíveis fósseis no processo (m³)	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Consumo de diesel no terminal	43	41	41	44	33	55	16	53	60	55	78	52
Consumo de diesel embarcações atracadas	273	264	240	259	254	324	268	260	284	296	327	302
Estimativa de consumo de diesel de carretas	37	35	44	47	49	55	66	38	41	49	64	47
Consumo de gás natural	3250	3224	5200	3640	3822	2756	2782	3016	3614	2860	2028	2938

O consumo de gás natural e óleo diesel na base considerou sua utilização nos equipamentos portuários, guindastes, empilhadeiras, geradores diesel e veículos próprios, sendo

que no terminal todas as cargas abaixo de 20 ton são transportadas por empilhadeiras à gás o que justifica o elevado consumo de gás natural.

Também foi considerada a queima de combustível a partir das carretas externas que levam e trazem cargas para o porto. Para tanto, os resultados mostraram que, em média, cada carreta consome cerca de 5 litros/hora de diesel, considerando uma permanência de 3 horas e um percurso total de 2 km dentro da base por carreta.

Por sua vez, enquanto atracadas, as embarcações necessitam manter seus geradores auxiliares em funcionamento, a fim de garantir energia para manutenção das atividades a bordo (sistemas de refrigeração, iluminação, comunicação, etc), para tanto a queima de diesel é constante enquanto durar a atracação. A pesquisa identificou que cada barco consome, cerca de 0,125 m<sup>3</sup>/hora enquanto atracada, sendo que as atracações possuem janelas de 12h.

Outro ponto que merece atenção é o fato da energia elétrica consumida na base não ter sido considerada no cálculo de GEE, isso se deve em função da energia ser proveniente de fontes renováveis hidrelétrica, eólica e solar.

Portanto, emissões atmosféricas calculadas pelo somatório da queima dos combustíveis no ciclo do processo, representam o total de CO<sub>2</sub> emitido pelo terminal. A Figura 6 representa a emissão total de CO<sub>2</sub> dentro do processo ao longo dos meses, onde merece destaque o mês de março/22 com quase 12 ton de CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

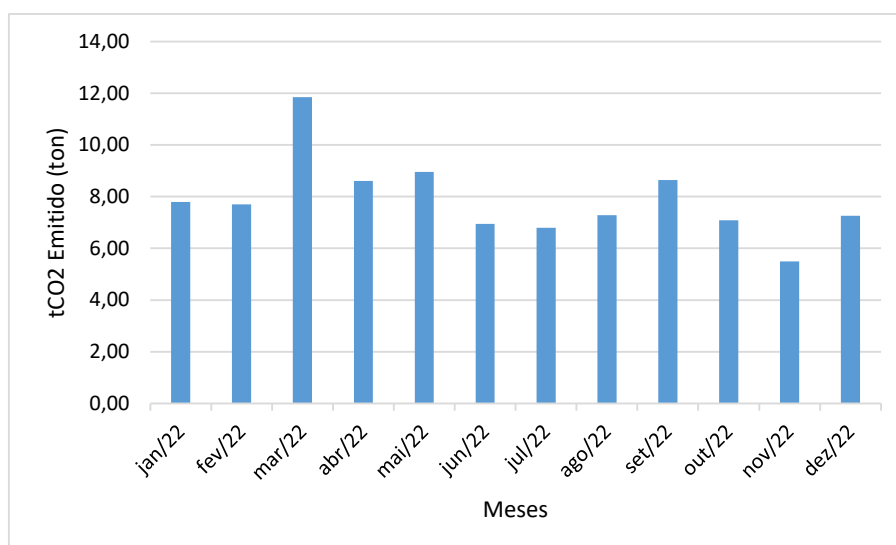


Figura 6 - Emissão total de CO<sub>2</sub> Equivalente ao longo do ciclo de vida do processo

Seguindo o princípio do método *ecological fingerprint* a Tabela 7 apresenta os dados normalizados para os ecoindicadores portuários, dessa forma foi possível comparar todos os indicadores numa mesma base de dados.

Tabela 7 - Dados normalizados

Ecoindicadores Portuários	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
Consumo de água da base	0,74	0,71	0,78	0,83	0,86	0,93	0,68	0,80	1,00	0,77	0,97	0,74
Consumo de energia elétrica	0,88	0,78	0,86	0,81	0,84	0,72	0,79	0,83	0,82	0,87	0,86	1,00
Emissões de CO2	0,63	0,62	1,00	0,70	0,74	0,53	0,54	0,58	0,70	0,55	0,39	0,57
Geração de efluentes líquidos	1,00	0,70	0,44	0,55	0,40	0,94	0,70	0,84	0,71	0,67	0,84	0,65
Geração de resíduos sólidos	0,40	0,30	0,46	0,39	0,32	0,42	0,29	0,42	0,21	0,17	1,00	0,28

Após o cálculo das variáveis individuais a impressão digital ecológica para o processo portuário é apresentada, graficamente, na Figura 7. Para melhor análise os gráficos foram divididos em trimestres a fim de representar o ano de 2022.

Em que pese o fato do mês de março/22 ter representado o período com maior emissão de CO<sub>2</sub>, o mês de novembro/22 representou elevado consumo de água e geração de resíduos sólidos, além de alta geração de efluentes líquidos e consumo de energia elétrica, fazendo com que este mês tenha de destacado como o de menor eficiência ambiental.

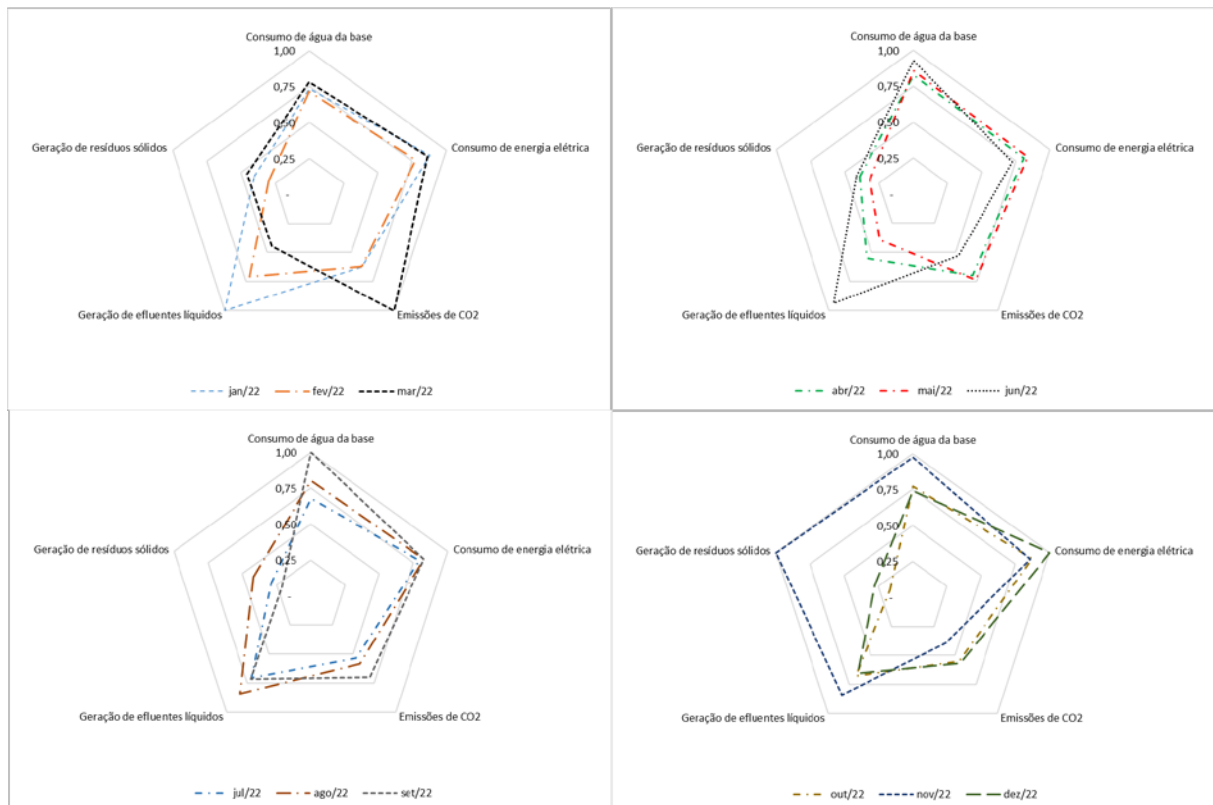


Figura 7 - *Ecological Fingerprint* - Impressão digital ambiental dos impactos relativos ao ciclo de vida do processo em cada mês

Nota-se ainda que a comparação mês a mês de cada um dos indicadores deve ser apoiada ao conhecimento do ciclo de vida do processo. Tomando como exemplo a elevada geração de CO<sub>2</sub> no mês março/22, foi apurada um aumento no consumo de gás natural daquele mês, ocasionado pela locação de empilhadeiras para atendimento a demandas extras do terminal.

Assim, tal ferramenta provoca gestores e equipes de processo a um maior aprofundamento nas atividades a fim de entender por que um determinado mês o processo foi mais ou menos sustentável que outro. Podendo de forma mais assertiva buscar soluções para equalizar o processo.

Em complemento, os valores utilizados para a impressão digital ecológica foram somados e unidos aos dados normalizados da tarifa portuária, a qual representa a componente de custo do processo, sendo que o resultado está representado na Figura 8 como um comparativo de ecoeficiência bidimensional de fácil entendimento. A posição final de cada mês mostra o custo relativo e a carga ambiental simultânea do processo produtivo, sendo esta avaliação mensal o “portfólio de ecoeficiência” do método aplicado.

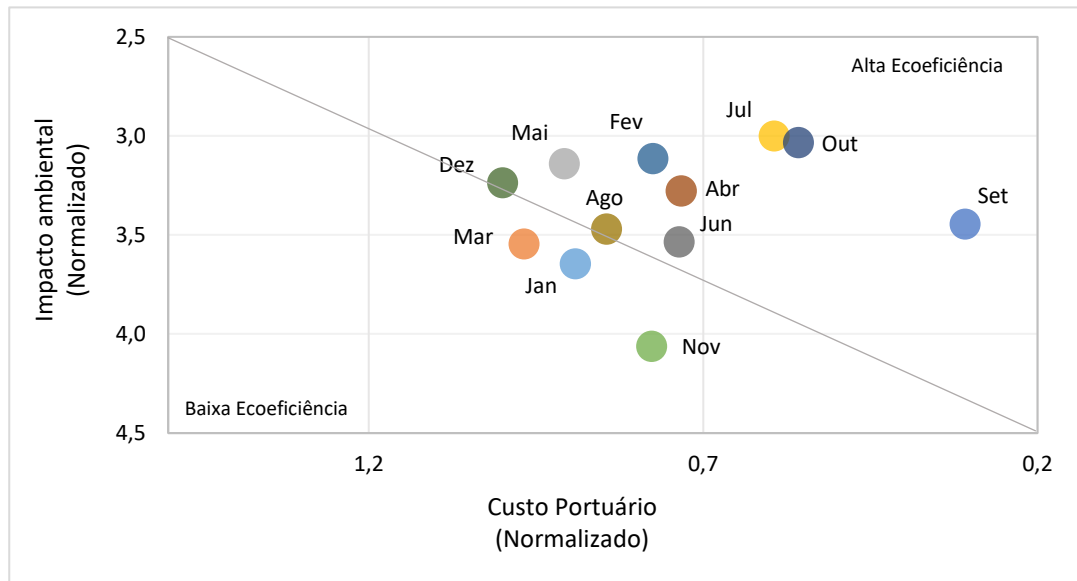


Figura 8 - Comparativo de ecoeficiência mensal para o ano de 2022 no processo portuário

De acordo com a análise comparativa o mês de julho/22 foi o mês de maior ecoeficiência, pois apesar dos meses de outubro/22 e setembro/22 terem registrados menores tarifas portuárias, Julho/22 foi o melhor mês pois houve um melhor desempenho ambiental e um bom desempenho de custo. Por sua vez, os meses de janeiro/22, março/22 e novembro/22 tiveram os piores desempenhos.

Os custos portuários calculados a partir da razão de uma unidade monetária pelo total de carga movimentada no período, representam uma variação inversamente proporcional na relação custo x carga movimentada, pois quanto maior a movimentação de cargas menor os custos. Assim, a natureza da variável econômica usada no modelo é de extrema relevância, pois pode influenciar o resultado da análise.

Destaca-se que o cenário ideal com baixo custo e baixo impacto ambiental, se assemelha a grandezas inversamente proporcionais, logo este estudo corrobora com a análise de (DYCKHOFF; QUANDEL; WALETZKE, 2015) quando se refere aos pontos de atenção do método *ecological fingerprint*, sobretudo pela natureza das variáveis se comportarem como grandezas inversamente proporcionais, que necessariamente conduz a uma análise criteriosa a fim de chegar a um “ponto ótimo ou ponto de equilíbrio”.

Neste sentido, a comprovação dos resultados do método *ecological fingerprint* se deu por meio do cálculo da área do gráfico radar, indicado na Tabela 8, gerando o Índice Relativo de Ecoeficiência. Os resultados comparados aos da Figura 8, foram consistentes com a diferença da mensuração ser mais rápida e direta, uma vez que a comparação é numérica. Destaca-se a necessidade de ambos para análise do processo, uma vez que o gráfico radar mostra em qual indicador devem ser tomadas ações de melhoria.

Tabela 8 - Índice Relativo de Ecoeficiência calculado a partir da área do gráfico radar

Ecoindicadores Portuários	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
IRE - Índice Relativo de Ecoeficiência	1,09	0,82	1,10	0,93	0,87	1,01	0,75	1,01	0,98	0,76	1,43	0,89

Ordenando o resultado de forma gráfica a Figura 9 apresenta o resultado do IRE a partir do mês de melhor ecoeficiência julho/22 para o de menor ecoeficiência novembro/22. Comprovando a eficácia do método *ecological fingerprint* para análise comparativa de ecoeficiência.

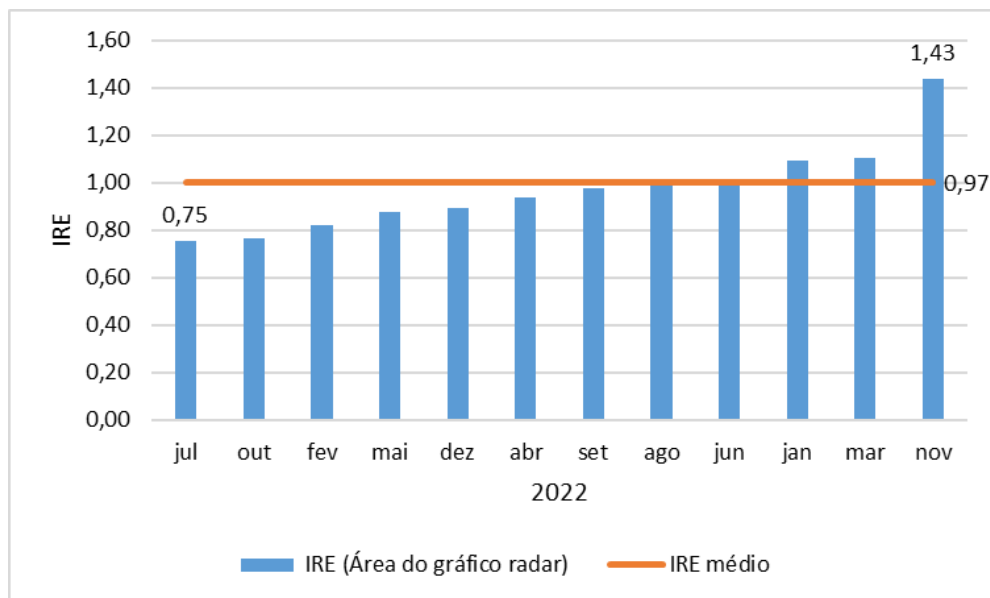


Figura 9 - Ordenamento da ecoeficiência a partir do IRE calculado para cada mês



Destaca-se a relevância e independência dos resultados uma vez que no mês de janeiro/22, mesmo tendo um desempenho ambiental inferior ao mês de março/22, o desempenho econômico superior fez com que janeiro superasse o mês de março.

Por fim cabe mensurar a relevância do conhecimento do processo portuário, dado que a análise comparativa em si, apenas indica qual mês foi superior em relação a outro, contudo uma análise detalhada do processo, pode indicar quais variáveis foram mais significativas ou onde é possível mudar o processo para obtenção de maiores ganhos ambientais e de eficiência econômica.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs a aplicação da metodologia *ecological fingerprint* na mensuração e avaliação da ecoeficiência portuária, em um terminal de apoio *offshore* no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, contribuindo como ferramenta de avaliação da sustentabilidade interna do terminal.

O uso sustentável dos recursos naturais para o desenvolvimento dos processos industriais, tem ganhado cada vez mais espaço nas empresas, que têm buscado associar a redução dos impactos ambientais com decisões economicamente sustentáveis. E o monitoramento do ciclo de vida dos processos por meio de ecoindicadores tem contribuído de maneira eficaz na busca por decisões viáveis.

Num contexto geral, a sustentabilidade ambiental é deficiente quando analisado a partir de um único indicador ambiental. Logo, é necessário desenvolver e aplicar métodos de monitoramento que possam avaliar, simultaneamente, um conjunto representativo de indicadores e gerar resultados que permitam análises mais assertivas e ágeis. Além disso, é necessário para uma boa gestão socioambiental que os ecoindicadores apontados, sirvam de base para uma matriz de impacto ambiental.

Assim, a aplicação da ferramenta desenvolvida neste estudo, denominada de IRE - Índice Relativo de Ecoeficiência, possibilitou avaliar um conjunto de ecoindicadores e analisá-los de forma integrada, mensurando o desempenho ambiental das operações portuárias em diferentes meses ao longo do ano.

Os resultados deste estudo demonstram a objetividade e a acessibilidade quanto ao uso da ferramenta, tornando possível mensurar a eficiência ambiental e efetuar sua comparação ao longo dos meses. O conhecimento e o detalhamento do ciclo de vida do processo, facilitaram a seleção dos indicadores. Por sua vez, por serem dados operacionais, sua obtenção e compilação por meio de cálculos automatizados, seja por *business intelligence* ou planilhas eletrônicas, facilitam a inserção do método no dia a dia operacional, possibilitando o acompanhamento pelas equipes, permitindo intervenções mais pontuais ao longo do processo.

Contudo, para que os impactos positivos de uma gestão sustentável sejam percebidos e tenham os efeitos esperados, é necessário evoluir também no processo de educação ambiental, pois esta é uma ferramenta com grande potencial para o alcance da sustentabilidade.

Assim, o método de mensuração da sustentabilidade aplicada neste trabalho serviu como ferramenta de apoio a gestão, complementando o conjunto de padrões e práticas adotadas pelo porto, que tem buscado atender aos compromissos socioambientais e se consolidar como uma empresa socialmente consciente, dentro dos conceitos ESG.

Por fim, os autores vislumbram, para trabalhos futuros, que este estudo possa contribuir para processos portuários mais sustentáveis, e até mesmo na criação de uma rede de terminais ecoeficientes, nos moldes dos terminais europeus. Porém, além dos indicadores apresentados, o uso de fontes alternativas de energia (solar e eólica) somados aos benefícios da educação ambiental, podem contribuir para minimizar os impactos das atividades portuárias. Assim, espera-se que comunidade científica, possa utilizar os resultados deste trabalho e disseminar novos conhecimentos.

## REFERÊNCIAS

ALZHRANI, A. et al. **A proposed roadmap for delivering zero carbon fishery ports.** *Energy Reports*, [s.l.], v. 8, p. 82–88, 2022. ISSN: 23524847, DOI: 10.1016/j.egy.2022.01.083.

ARTIACH, T. et al. **The determinants of corporate sustainability performance.** *Accounting & Finance*, [s.l.], v. 50, n° 1, p. 31–51, 2010. ISSN: 08105391, 1467629X, DOI: 10.1111/j.1467-629X.2009.00315.x.

BASURKO, O. C.; MESBAHI, E. **Methodology for the sustainability assessment of marine technologies.** *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 68, p. 155–164, 2014. ISSN: 09596526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.01.022.

BERGQVIST, R.; MONIOS, J. **Green Ports in Theory and Practice.** *Green Ports: Inland and Seaside Sustainable Transportation Strategies*. [s.l.]: [s.n.], 2018. 1–17 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-814054-3.00001-3.

BIDOKI, S. M. et al. **Eco-efficiency analysis of textile coating materials.** *Journal of the Iranian Chemical Society*, [s.l.], v. 3, n° 4, p. 351–359, 2006. ISSN: 1735-207X, 1735-2428, DOI: 10.1007/BF03245958.

D'AGOSTO, M. de A.; GONÇALVES, D. N. S.; OLIVEIRA, L. D. B. **Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental.** Técnico. Rio de Janeiro: LTC/COPPE/UFRJ, 2017. Disponível em: <<http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/publicacoes/anexo.pdf>>.

DI VAIO, A.; VARRIALE, L. **Management Innovation for Environmental Sustainability in Seaports: Managerial Accounting Instruments and Training for Competitive Green Ports beyond the Regulations.** *Sustainability*, [s.l.], v. 10, n° 3, p. 783, 2018. ISSN: 2071-1050, DOI: 10.3390/su10030783.

DYCKHOFF, H.; QUANDEL, A.; WALETZKE, K. **Rationality of eco-efficiency methods: Is the BASF analysis dependent on irrelevant alternatives?** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [s.l.], v. 20, n° 11, p. 1557–1567, 2015. ISSN: 0948-3349, 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-015-0957-9.

EGGLESTON, H. S. et al. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.** [s.l.]: [s.n.], 2006. ISBN: 978-4-88788-032-0.

EPE. **Balço Energético Nacional 2021.** Anuário. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>.

FREITAS, M. R. D. O. et al. **Determinantes do Desempenho de Ecoeficiência Corporativa e a Criação de Valor às Empresas Brasileiras.** *Revista Universo Contábil*, [s.l.], v. 14, n° 4, p. 137, 2019. ISSN: 1809-3337, 1809-3337, DOI: 10.4270/ruc.2018431.

GOBBI, C. N. et al. **Efficiency in the environmental management of plastic wastes at Brazilian ports based on data envelopment analysis.** *Marine Pollution Bulletin*, [s.l.], v. 142, p. 377–383, 2019. ISSN: 0025-326X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.061>.

HAHN, T. et al. **Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodology and its application to the CO<sub>2</sub>-efficiency of German companies.** *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 91, n<sup>o</sup> 10, p. 1997–2007, 2010. ISSN: 03014797, DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.05.004.

HOUSNI, F. et al. **Environmental sustainability maturity system: An integrated system scale to assist maritime port managers in addressing environmental sustainability goals.** *Environmental Challenges*, [s.l.], v. 7, 2022. ISSN: 26670100, DOI: 10.1016/j.envc.2022.100481.

LIM, S. et al. **Port Sustainability Performance: A Systematic Literature Review.** [s.l.], v. 72, p. 47–64, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.009>.

NBR ISO 14040. **ABNT NBR ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.** 2. ed ed. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2009. ISBN: 978-85-07-01532-1.

PEREIRA, C. P. et al. **Desenvolvimento de Índice de Comparação de Ecoeficiência a partir de Ecoindicadores.** *Sistemas & Gestão*, [s.l.], v. 9, n<sup>o</sup> 2, p. 168–180, 2014. ISSN: 1980-5160, DOI: 10.7177/sg.2014.V9.N2.A1.

PUIG, M. et al. **Insights on the environmental management system of the European port sector.** *Science of The Total Environment*, [s.l.], v. 806, p. 150550, 2021. ISSN: 00489697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150550.

RHEDE VAN DER KLOOT, G. VAN. **Sustainability assessment of quay wall development in the Port of Rotterdam.** 174 p. - Delft University of Technology, 2019. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1b8b8008-3487-4bed-9702-691d65c69ce6/datastream/OBJ/download>>.

RINCÓN, E.; WELLENS, A. **Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas.** *Revista internacional de contaminación ambiental*, [s.l.], v. 27, n<sup>o</sup> 4, p. 333–345, 2011. ISSN: 0188-4999.

RODRIGUES, P. M. S.; SILVA FILHO, P. A. **Quantificação das Emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por Veículos Automotores na Cidade de Boa Vista/RR - 2005 a 2015.** Em: *Pluris 2016*. MACEIO/AL - BRASIL: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%203%20-%20Mobilidade%20e%20Transportes/Paper1612.pdf>>.

SALING, P. et al. **Eco-efficiency analysis by BASF: The method.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, [s.l.], v. 7, n<sup>o</sup> 4, p. 203–218, 2002. ISSN: 09483349, DOI: 10.1007/BF02978875.

SCHIPPER, C. A. et al. **Characterization of sdgs towards coastal management: Sustainability performance and cross-linking consequences.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, n<sup>o</sup> 3, p. 1–33, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su13031560.

SCIBERRAS, L.; SILVA, J. R. **The UN's 2030 Agenda for sustainable development and the maritime transport domain: the role and challenges of IMO and its stakeholders through a grounded theory perspective.** *WMU Journal of Maritime Affairs*, [s.l.], v. 17, n<sup>o</sup> 3, p. 435–459, 2018. DOI: 10.1007/s13437-018-0147-2.

SOUZA, A. M. De et al. **On the strategies to improve the eco-efficiency of self-compacting concrete using industrial waste: An analytical review.** *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 347, p. 128634, 2022. ISSN: 09500618, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128634.

UHLMAN, B. W.; SALING, P. **Measuring and Communicating Sustainability through Eco-Efficiency Analysis.** *Chemical Engineering Progress*, [s.l.], v. 106, p. 12, 2010.

UNCTAD. **Key performance indicators for ports and the shipping fleet.** *Review of Maritime Transport 2021*. [s.l.]: United Nations, 2021. p. 87–107. ISBN: 978-92-1-000097-0, DOI: 10.18356/9789210000970c008.

UNCTAD, U. N. C. on T. and D. **A manual for the preparers and users of eco-efficiency indicators.** Version 1.1 ed. New York: United Nations, 2004. 114 p. ISBN: 978-92-1-112620-4.

\_\_\_\_\_. **REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2021.** S.l.: UNITED NATIONS, 2022. ISBN: 978-92-1-113026-3.

VEGA-MUÑOZ, A. et al. **How to measure environmental performance in ports.** *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 13, n° 7, 2021. ISSN: 20711050, DOI: 10.3390/su13074035.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento sustentável tem sido discutido desde o final da década de 1970, contudo, mais recentemente o tema tem ganhado força no cenário mundial. De forma geral, foi verificado que em países com maior grau de desenvolvimento a aplicação de ações sustentáveis é mais abrangente e possui maior cobrança das partes interessadas, dentre estes destacam-se os investidores, que começam a mostrar maior valorização por empresas que divulgam suas práticas ESG.

Esta pesquisa, subdividida em dois artigos, teve como objetivo mensurar a ecoeficiência em um terminal portuário de apoio às operações de Exploração e Produção de óleo e gás, por meio da aplicação da metodologia *Ecological Fingerprint*, a qual toma como base a avaliação do ciclo de vida do processo. O estudo propôs ainda a utilização de um único índice de eficiência, chamado de IRE – índice Relativo e Ecoeficiência, calculado a partir dos principais indicadores ambientais portuários. A escassez de estudos acadêmicos aplicados ao processo portuário motivou a continuidade do estudo.

Sendo o primeiro artigo uma revisão da literatura foi possível abordar os principais indicadores de desempenho e avaliação portuária, também chamados de eco indicadores, destinados a mensurar a sustentabilidade portuária e sua aplicação na gestão portuária nos principais portos mundiais. Com destaque para terminais de contêineres e de carga geral, que possuem maior destaque sobretudo por sua importância para a economia e no comércio global.

Seus resultados se destacam pois, podem servir de subsídio e auxiliar os formuladores de políticas públicas na implementação e condução de investimentos portuários nos estados brasileiros, uma vez que foram identificados os indicadores mais relevantes sob a ótica da sustentabilidade.

Por sua vez o segundo artigo demonstrou a aplicação da metodologia *Ecological Fingerprint* na mensuração e avaliação da ecoeficiência portuária, em um terminal de apoio *offshore* no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, a qual serviu como ferramenta de avaliação da sustentabilidade interna do terminal.

A objetividade e a acessibilidade do método estão entre os achados na aplicação do método, tornando possível mensurar a eficiência ambiental e efetuar uma análise comparativa ao longo do tempo. O detalhamento do ciclo de vida do processo, facilitou a seleção dos

indicadores, bem como a inserção do método no dia a dia operacional, possibilitando o acompanhamento pelas equipes, permitindo intervenções mais pontuais ao longo do processo.

A mensuração da sustentabilidade aplicada neste estudo serviu como ferramenta de apoio a gestão, complementando as práticas adotadas pelo porto quanto ao atendimento aos compromissos socioambientais.

Além de produzir *insights* para novos estudos e aplicações em outros segmentos econômicos, os resultados também contribuem para que empresas reformulem seus procedimentos avaliando investimentos além do campo econômico. Os resultados mostram ainda os benefícios das práticas de sustentabilidade para o negócio.

Por fim, sugere-se a aplicação do método para estudos futuros quanto a ampliação da aplicação para outros seguimentos, bem como para outros terminais portuários, a fim de criar uma massa de dados comparativa quanto a um *benchmarking* de sustentabilidade.