ISSN: 2359-1048
Novembro 2023

ECO EFICIÊNCIA NAS OPERAÇÕES INDUSTRIAIS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

HERLANE CHAVES PAZ
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

FRANCISCO DENNES ROCHA PEREIRA

ANA MARIA VICENTE DA SILVA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Introdução
O crescimento acelerado das cidades, o aumento da produção e o consequente aumento do consumo resultaram em um aumento significativo na geração de resíduos, tanto de origem industrial quanto doméstica. Esse cenário despertou crescente preocupação com o meio ambiente e com os processos de produção. A questão ambiental passou a ser uma pauta global premente. Mais recentemente, as discussões e debates têm se concentrado nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que têm implicações diretas nas estratégias de gestão e nas operações das organizações, com foco na busca da ecoeficiência.
Problema de Pesquisa e Objetivo
O artigo se propõe através de uma bibliometria, a mapear e caracterizar as pesquisas científica sobre eco eficiência nas operações, com intuito de compreender as melhores práticas e estratégias para promover um futuro mais sustentável e eco eficiente em diversos contextos. Para alcançar a ecoeficiência, as empresas podem adotar práticas como a implementação de processos de produção mais limpos, a redução de resíduos, a gestão do ciclo de vida dos produtos, a diminuição do consumo de recursos, a prevenção da poluição e o gerenciamento de sistemas ambientais.
Fundamentação Teórica
Pesquisas em eco eficiência e sustentabilidade ambiental tem sido um campo de grande interesse e relevância no cenário científico atual. Ao longo dos anos, diversos autores contribuíram com valiosas investigações e estudos que abordam questões cruciais relacionadas à gestão ambiental, eficiência de recursos e redução de impactos ambientais. Neste contexto, autores como Scholz e Wiek (2005), Ravi (2015), Han et al. (2019), Ball e Lunt (2020), Yi e Lim (2021), Cui e Wang (2023) são considerados autores relevantes na temática com insights valiosos da prododução e eco eficiência.
Metodologia
A pesquisa foi realizada com o intuito de verificar como a eco eficiência na temática de operações vem sendo trabalhada na comunidade acadêmica e científica. Para tanto, foram levantados artigos no banco de dados Web of Science que abordassem “eco-efficiency” AND “operations” em resumos. Nos resultados foram obtidas 163 publicações. O intervalo de tempo estabelecido foi com fim em 2023 e sem data de início.Foram excluídos 43 artigos de conferências e 3 artigos antecipados, ficando somente 117 artigos e artigos de revisão.
Análise dos Resultados
As publicações encontradas originaram-se de 25 países, sendo os mais relevantes, em quantidade de documentos, China, Brasil e Espanha. Os trabalhos foram publicados em dez diferentes editoras e evidenciando muitas pesquisas por periódicos, indicando que o tema tem sido estudado continuamente. Percebe-se que a editora Elsevier (61 publicações – 52,14%).Agências financiadoras com mínimo 2 artigos publicados são National Natural Science Foundation Of China Nsfc têm 10 artigos, CAPES com 6 artigos e CNPQ com 4 artigos.
Conclusão
Estudos têm se concentrado em avaliar a eficiência de recursos, redução de impactos ambientais, adoção de práticas sustentáveis e estratégias para melhorar a eco eficiência em várias operações e processos. Embora as abordagens e métodos variem entre essas pesquisas, todas elas compartilham o objetivo comum de promover práticas mais sustentáveis e eficientes em termos de recursos. Esses estudos contribuem significativamente para o acúmulo de conhecimento e oferecem insights valiosos para a tomada de decisões sustentáveis em diferentes setores da indústria e da gestão ambiental.
Referências Bibliográficas
AL?NAJJAR, Basil; ANFIMIADOU, Aspioni. Environmental policies and firm value. Business Strategy and the Environment, 2012, 21.1: 49-59. AVADÍ, Ángel; VÁZQUEZ-ROWE, Ian; FRÉON, Pierre. Eco-efficiency assessment of the Peruvian anchoveta steel and wooden fleets using the LCA+ DEA framework. Journal of cleaner Production, 2014, 70: 118-131. BALL, Peter; LUNT, Peter. Lean eco-efficient innovation in operations through the maintenance organisation. International Journal of Production Economics, 2020, 219: 405-415.

Palavras Chave
Eco eficiência., Produção, Sustentabilidade

ECO EFICIÊNCIA NAS OPERAÇÕES INDUSTRIAIS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Resumo

O presente artigo realizou uma revisão sistemática da literatura em eco eficiência na temática de operações. Para isso, o protocolo metodológico empregados para filtrar 163 artigos retirados das bases de dados Science Direct e Web of Science. 117 artigos foram analisados extensivamente com intuito de elucidar as principais abordagens. A discussão dos resultados apontou que 52,14 % dos artigos foram publicados pelo Jornal Elsevier, demonstrando sua representatividade e importância para o debate em questão. Dentre as principais abordagens, 65,81% foram de Ecologia da Ciência Ambiental, constatando um crescimento nos últimos 5 anos de estudos em (eco)eficiência e produção. Portanto, conclui-se que apesar do aumento nas pesquisas, sejam poderosos para alcançar a melhoria ambiental nas indústrias, as atuais práticas ainda não são suficientes para alcançar o objetivo final de desenvolvimento sustentável e equilibrar o desenvolvimento industrial com a utilização sustentável dos recursos naturais.

Palavra Chaves: Eco eficiência. Produção. Sustentabilidade. ESG.

Abstract

This article carried out a systematic review of the literature on eco-efficiency in the field of operations. For this, the methodological protocol used to filter 163 articles taken from the Science Direct and Web of Science databases. 117 articles were extensively analyzed in order to elucidate the main approaches. The discussion of the results showed that 52.14% of the articles were published by the Elsevier Journal, demonstrating its representativeness and importance for the debate in question. Among the main approaches, 65.81% were from Environmental Science Ecology, showing growth in the last 5 years of studies in (eco)efficiency and production. Therefore, it is concluded that although the increase in research is powerful in achieving environmental improvement in industries, current practices are still not sufficient to achieve the ultimate objective of sustainable development and balance industrial development with the sustainable use of natural resources.

Keywords: Eco efficiency. Production. Sustainability. ESG.

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável no cenário global em 1987, definindo-o como "o desenvolvimento que atende às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades" (UNITED NATIONS, 1987). No entanto, foi durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992, que a expressão "desenvolvimento sustentável" ganhou destaque e se tornou um dos movimentos sociais mais significativos do século atual.

O crescimento acelerado das cidades, o aumento da produção e o consequente aumento do consumo resultaram em um aumento significativo na geração de resíduos, tanto de origem industrial quanto doméstica. Esse cenário despertou crescente preocupação com o meio ambiente e com os processos de produção. A questão ambiental passou a ser uma pauta global premente. Mais recentemente, as discussões e debates têm se concentrado nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que têm implicações diretas nas estratégias de gestão e nas operações das organizações, com foco na busca da ecoeficiência (ONU, 2015).

Essa crescente preocupação ambiental também afetou o mundo dos negócios, levando as empresas a perceberem a sustentabilidade como uma vantagem competitiva. A vantagem competitiva é a busca constante das empresas por oferecer produtos e serviços que melhorem sua posição no mercado. Isso implica melhorar o desempenho organizacional, tornando-o mais eficiente e eficaz (BARNEY, 1991). A busca pela vantagem competitiva leva as empresas a inovar em suas atividades e a explorar novos métodos para obter insumos para suas operações, conforme evidenciado nos estudos de Carvalho et al. (2017).

Uma das maneiras de avaliar se as melhores práticas empresariais estão alinhadas com o desenvolvimento sustentável é a aplicação dos conceitos de ecoeficiência (CAIADO et al., 2017; FIGGE; HAHN, 2013). A ecoeficiência, definida pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), envolve a entrega de bens e serviços a preços competitivos que atendam às necessidades humanas, proporcionem qualidade de vida e, ao mesmo tempo, reduzam progressivamente os impactos ecológicos e a intensidade no uso de recursos. Em essência, a ecoeficiência visa criar mais valor com menos impacto (MADDEN et al., 2005).

Para alcançar a ecoeficiência, as empresas podem adotar práticas como a implementação de processos de produção mais limpos, a redução de resíduos, a gestão do ciclo de vida dos produtos, a diminuição do consumo de recursos, a prevenção da poluição e o gerenciamento de sistemas ambientais (KOSKELA; VEHMAS, 2012). No entanto, é importante destacar que, embora essas práticas busquem atender às três dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômica e social), o aumento na produção resultante do estímulo à demanda por novos produtos pode, em alguns casos, neutralizar ou até mesmo superar os ganhos ambientais alcançados. Portanto, é essencial considerar cuidadosamente o equilíbrio entre eficiência, desenvolvimento sustentável e vantagem competitiva em todos os aspectos das operações empresariais.

Pesquisas em eco eficiência e sustentabilidade ambiental tem sido um campo de grande interesse e relevância no cenário científico atual. Ao longo dos anos, diversos autores contribuíram com valiosas investigações e estudos que abordam questões cruciais relacionadas à gestão ambiental, eficiência de recursos e redução de impactos ambientais. Neste contexto, autores como Scholz e Wiek (2005), Ravi (2015), Han et al. (2019), Ball e Lunt (2020), Yi e Lim (2021), Cui e Wang (2023) são considerados autores relevantes na temática e muitos outros têm fornecido insights valiosos para a compreensão e promoção da eco eficiência em diversas áreas e setores.

Com base nas contribuições desses estudiosos, buscou-se criar uma visão abrangente e informada sobre o estado atual do conhecimento e as tendências emergentes nesse campo de pesquisa. A partir dessa base sólida de evidências e teorias, nosso artigo se propõe através de uma bibliometria, a mapear e caracterizar as pesquisas científica sobre eco eficiência nas operações, com intuito de compreender as melhores práticas e estratégias para promover um futuro mais sustentável e eco eficiente em diversos contextos.

Este estudo se justifica devido a eco eficiência nas operações ter se destacado como uma temática de extrema relevância sob diferentes perspectivas: acadêmica, gerencial e social. Do ponto de vista acadêmico, a eco eficiência representa um campo interdisciplinar que reúne conceitos de gestão ambiental, economia, engenharia e ciências sociais, desafiando pesquisadores a desenvolverem modelos e métodos inovadores para avaliar o desempenho das organizações e suas cadeias de suprimentos em termos de sustentabilidade. Esse desafio acadêmico é impulsionado pela necessidade de compreender as complexas interações entre as dimensões ambientais, econômicas e sociais das operações, contribuindo assim para a formação de profissionais e líderes mais conscientes e preparados para enfrentar os desafios contemporâneos da sustentabilidade.

No âmbito gerencial, a eco eficiência tornou-se uma abordagem estratégica fundamental para as organizações que buscam reduzir custos operacionais, minimizar riscos regulatórios e melhorar sua reputação junto aos stakeholders. A implementação de práticas eco eficientes não apenas promove a otimização dos recursos naturais, mas também pode resultar em processos mais eficientes, inovações tecnológicas e uma cultura organizacional voltada para a responsabilidade socioambiental. Dessa forma, a eco eficiência oferece às empresas uma vantagem competitiva sustentável, ao mesmo tempo em que atende às expectativas crescentes da sociedade por práticas empresariais responsáveis.

Sob a perspectiva social, a eco eficiência nas operações desempenha um papel vital na promoção da equidade e do bem-estar humano. A redução do impacto ambiental das operações pode contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, a proteção da biodiversidade e a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais. Além disso, as práticas ecoeficientes podem gerar oportunidades de emprego em setores relacionados à sustentabilidade e promover a inclusão de grupos marginalizados. Portanto, a eco eficiência não é apenas uma questão de responsabilidade corporativa, mas também uma ferramenta poderosa para promover uma sociedade mais justa e resiliente.

Assim, a temática da eco eficiência nas operações transcende fronteiras acadêmicas, empresariais e sociais, oferecendo um campo fértil para a pesquisa, a gestão estratégica e o impacto positivo na sociedade como um todo. A integração dessas perspectivas é fundamental para a construção de um futuro mais sustentável, no qual as operações empresariais desempenham um papel significativo na busca por soluções eficazes e responsáveis para os desafios globais.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada com o intuito de verificar como a eco eficiência na temática de operações vem sendo trabalhada na comunidade acadêmica e científica. Para tanto, foram levantados artigos no banco de dados *Web of Science* que abordassem, de alguma forma, este assunto.

Considerada como uma ciência acadêmica, a bibliometria, busca avaliar as pesquisas desenvolvidas em determinado campo, sendo utilizada para estudar medidas de pesquisa por meio de publicações oriundas de bases de dados bibliográficos (Gutiérrez-Salcedo et al., 2018).

Os estudos bibliométricos são desenvolvidos, e baseado em leis três empíricas: a Lei de Lotka, a Lei de Zipf e a Lei de Brandford e os estudos se caracterizou por ser uma técnica de pesquisa que analisa as publicações em livros, relatórios e em artigos e (Egghe, 2005; Araújo, 2006, Ferreira, 2011). A Lei de Lotka, pretende medir a produtividade e a citação dos autores por meio de um modelo de distribuição de tamanho-frequência em pesquisas, podendo evidenciar aspectos de coautoria. A Lei de Zipf, tenta mensurar a frequência de palavras no texto, se há um relacionamento entre elas e como ocorre, suscitando uma lista ordenada dos termos (Vanti, 2002). E, por fim, a Lei de Brandford que busca avaliar a produtividade dos periódicos, o nível de relevância de determinada área e/ou assunto (Acedo & Cassillas, 2005).

Diante a relevância das leis o presente estudo consiste numa revisão bibliográfica baseada nas três leis. Na primeira fase do estudo, realizou-se uma busca na base de dados *Web of Science*. A plataforma foi escolhida devido ao seu acervo em uma grande coleção de banco de dados. Para a determinação dos critérios de busca, etapa-chave na pesquisa bibliométrica, adotou-se uma abordagem sociolinguística.

Os critérios de busca na base que foram adotados para esse estudo: "*eco-efficiency*" AND "*operations*" em resumos. Nos resultados foram obtidas 163 publicações. O intervalo de tempo estabelecido foi com fim em 2023 e sem data de início, ao final da pesquisa, observou-se que os estudos foram publicados entre 1996 e 2023. Diante da quantidade de documentos obtidos que não eram artigos, optou-se por aplicar filtros aos resultados, retirando os que não eram artigos ou artigos de revisão. Foram excluídos 43 artigos de conferências e 3 artigos antecipados, ficando somente 117 artigos e artigos de revisão. Após critérios de refinamento, os anos de publicação ficaram de os mesmos.

A exclusão se justifica para refinar os resultados e focar apenas em artigos relevantes, e com avaliações por pares, dando mais rigor e relevância a pesquisa, por isso foram excluídos tipos específicos de documentos que não se enquadravam no escopo do estudo.

A busca e coleta de dados ocorreram no mês de agosto de 2023. Para a segunda fase, os trabalhos foram selecionados utilizando os seguintes critérios: ser um artigo, está disponível em

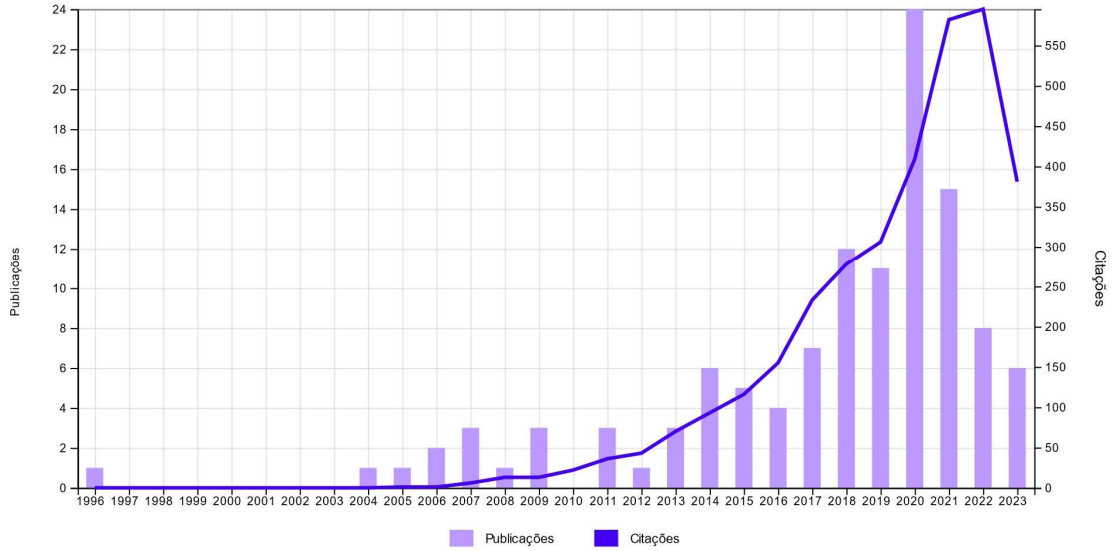
formato completo, depois partiu-se para a leitura completa dos artigos. Após as leituras utilizamos a ferramenta VOSviewer©, para construir e visualizar mapas e redes bibliométricas envolvendo co-citação e co-autoria, dentre outras formas de mapeamento.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos procedimentos descritos no tópico anterior e nos resultados obtidos, de 117 artigos com a busca "*eco-efficiency*" AND "*operations*", seguem as características desses documentos.

3.1 Análise Bibliométrica

Figura 1 - Numero de Citações e Publicações



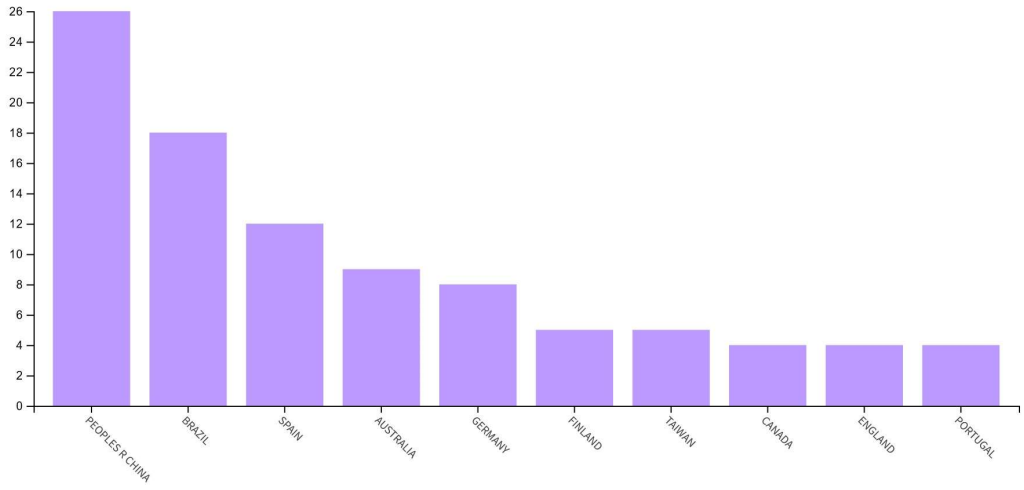
Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

Conforme pode ser visualizado na Figura 1, a quantidade de publicações começa a apresentar tendência de crescimento nos últimos 5 anos, com grande crescimento na temática em 2018.

3.1.1 Países e idiomas mais produtivos

As publicações encontradas originaram-se de 25 países, sendo os mais relevantes, em quantidade de documentos, apresentados na Figura abaixo.

Figura 2 - Países mais produtivos



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

De acordo com a Figura 2, pode-se verificar que os Povos da China são os países do qual se originou a maior quantidade de publicações, seguido do Brasil e Espanha.

Com relação aos idiomas dos artigos, 114 são escritos em inglês, 2 em Português e 1 em Tcheca. Percebe-se portanto, que apesar da quantidade de países trabalharem a temática a língua inglesa é mais relevante.

3.1.2 Trabalhos mais citado

Esses artigos fornecem valiosos insights e estruturas para orientar práticas mais sustentáveis, promovendo a conscientização ambiental e uma abordagem mais equilibrada em relação às complexas questões que envolvem nossas atividades humanas. A interseção entre ciência, tecnologia e sustentabilidade é crucial para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e construir um futuro mais resiliente e responsável. Diante disso, o Quadro 1 traz uma amostra dos 10 artigos mais relevantes sobre a temática.

Quadro 1 – Relação de Trabalhos mais citados

Título	Autores	Periódico	Fator de Impacto últimos 5 anos	Ano da Publicação	Média por ano	Total de Publicações
Environmental principles applicable to supply chains design and operation	Tsoulfas e Pappis	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	11	2006	9,72	175
Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model	Hu et al.	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	11	2011	13,38	174
Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port	Song Su	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	5,2	2014	16,7	167

Benchmarking environmental and operational parameters through eco-efficiency criteria for dairy farms	Iribarren et al.	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRON MENT	9,6	2011	10,69	139
Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options	Kelly et al.	TOURISM MANAGEM ENT	13,1	2007	6,3	111
Thermodynamic analysis and life cycle assessment of supercritical pulverized coal-fired power plant integrated with No.0 feedwater pre-heater under partial loads	Han et al.	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTI ON	11	2019	22	110
Eco-efficiency assessment of the Peruvian anchoveta steel and wooden fleets using the LCA plus DEA framework	Avadi, Vazquez-Rowe, e Freon	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTI ON	11	2014	9,7	97
Environmental Policies and Firm Value	Al-Najjar e Anfimiado u	BUSINESS STRATEGY AND THE ENVIRON MENT	14,3	2012	8,8	97
Eco-efficiency change in power plants: using a slacks-based measure for the meta-frontier Malmquist-Luenberger productivity index	Munisamy e Arabi	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTI ON	11	2015	9,67	87
Developing environmental sustainability by ANP-QFD approach: the case of shipping operations	Lam e Lai	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTI ON	11	2015	9	81

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No artigo científico de Tsoulfas e Pappis (2006) "*Environmental Principles Applicable to Supply Chains Design and Operation*", publicado por Tsoulfas e Pappis em 2006, os autores exploram princípios ambientais cruciais que podem ser aplicados no design e na operação das cadeias de abastecimento. O estudo aborda a crescente importância da consideração ambiental nas práticas de gestão da cadeia de abastecimento, destacando a necessidade de minimizar os impactos negativos no meio ambiente ao mesmo tempo em que se busca a eficiência operacional. Os autores propõem a integração de princípios como a redução de resíduos, a minimização da pegada de carbono e a gestão responsável dos recursos naturais nas estratégias de design e operação das cadeias de abastecimento. O artigo fornece uma base sólida para a compreensão das implicações ambientais na gestão da cadeia de abastecimento, promovendo

abordagens mais sustentáveis e alinhadas com os desafios ambientais contemporâneos. Este trabalho continua a ser uma referência importante para profissionais e pesquisadores que buscam melhorar a sustentabilidade nas cadeias de abastecimento.

No contexto do artigo científico "*Ecological Utilization of Leather Tannery Waste with Circular Economy Model*" elaborado por Hu, Xiao, Zhou, Deng, Wang e Ma (2011) o foco está na exploração sustentável dos resíduos da indústria de curtumes por meio de um modelo de economia circular. Os autores abordam a necessidade premente de mitigar os impactos ambientais associados à produção de couro, propondo uma abordagem holística para a gestão desses resíduos. Neste estudo, são apresentadas estratégias inovadoras para a reutilização, reciclagem e transformação desses resíduos em recursos valiosos, contribuindo para a redução de desperdícios e a minimização da pegada ambiental. A pesquisa oferece insights significativos para a indústria de curtumes e outros setores relacionados, promovendo práticas mais sustentáveis e alinhadas com os princípios da economia circular. O trabalho de Hu et al. serve como uma contribuição valiosa para a compreensão e promoção da sustentabilidade nas operações da indústria de couro.

O artigo científico "*Ship Emissions Inventory, Social Cost, and Eco-Efficiency in Shanghai Yangshan Port*," de autoria de Song Su (2014) aborda questões críticas relacionadas à emissão de poluentes por navios e seus impactos socioeconômicos no Porto de Yangshan, em Xangai. O estudo se concentra na elaboração de um inventário de emissões de navios para compreender a magnitude dos poluentes liberados na atmosfera durante as operações portuárias. Além disso, o artigo analisa os custos sociais associados a essas emissões e avalia a eco eficiência das práticas portuárias. Os resultados deste estudo fornecem informações essenciais para a gestão ambiental e econômica do Porto de Yangshan, destacando a importância de medidas mitigatórias e estratégias de melhoria da eficiência ambiental para promover um desenvolvimento sustentável na região portuária. O trabalho de Song Su é uma contribuição significativa para a compreensão das complexas interações entre as atividades portuárias, as emissões de navios e seus impactos na sociedade e no meio ambiente.

Os autores Iribarren, Hospido, Moreira e Feijoo (2011) investigam o uso de critérios de eco eficiência para avaliar e comparar parâmetros ambientais e operacionais em fazendas leiteiras. O estudo aborda a importância crescente da sustentabilidade na agricultura, particularmente no setor de produção de leite, e propõe uma abordagem que visa aprimorar o desempenho ambiental e econômico das fazendas. Ao aplicar critérios de ecoeficiência, os autores identificam oportunidades de melhorias em termos de redução de impactos ambientais, otimização de recursos e aumento da eficiência operacional, fornecendo uma base para a implementação de práticas mais sustentáveis nas fazendas leiteiras, promovendo a integração da preocupação ambiental com os aspectos operacionais do setor. Portanto, o estudo de Iribarren et al. (2011) contribui significativamente para o avanço do conhecimento sobre a eco eficiência na agricultura.

Os autores Kelly, Haider, Williams e Englund (2007) exploram as preferências declaradas dos turistas em relação às opções de planejamento de destinos ecologicamente eficientes. Este estudo destaca a crescente importância de considerar as preferências dos turistas na gestão de destinos turísticos, especialmente no contexto da sustentabilidade ambiental. Os autores argumentam que incorporar princípios de eco eficiência nas estratégias de planejamento e gestão de destinos pode não apenas satisfazer as demandas dos turistas, mas também contribuir para a preservação dos recursos naturais e a minimização dos impactos ambientais negativos. Nesse sentido, a pesquisa de Kelly et al. (2007) oferece informações valiosas para profissionais do setor de turismo, enfatizando a necessidade de abordagens sustentáveis para a gestão de destinos que atendam tanto às expectativas dos turistas quanto aos objetivos de conservação ambiental.

O artigo dos autores Han, Chen, Yan, Liu, Liu e Karellas trazem uma análise termodinâmica e uma avaliação do ciclo de vida de uma usina termelétrica a carvão pulverizado operando em condições de carga parcial. O estudo destaca a importância de avaliar não apenas o desempenho termo energético, mas também os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da planta. Como os autores afirmam, "A avaliação do ciclo de vida é fundamental para uma compreensão holística das implicações ambientais e energéticas das tecnologias de geração de energia". Portanto, ao integrar a análise termodinâmica com a avaliação do ciclo de vida, o estudo fornece insights valiosos sobre a eficiência energética e os impactos ambientais associados à operação da usina, destacando a necessidade de abordagens mais sustentáveis na geração de energia. Por fim, os estudos de Han et al. (2019) é uma contribuição significativa para a pesquisa em energia e sustentabilidade, enfatizando a importância de considerar múltiplos aspectos na análise de sistemas de geração de energia.

Os autores Avadi, Vazquez-Rowe e Freon (2014) realizam uma avaliação abrangente da eco eficiência das frotas de pesca de anchoveta no Peru, distinguindo entre as frotas de aço e madeira. Através do uso do framework LCA (Avaliação do Ciclo de Vida) combinado com a Análise Envoltória de Dados (DEA), os autores exploram os aspectos ambientais e a eficiência operacional dessas frotas. Este estudo é fundamental para compreender o desempenho ambiental das práticas de pesca, bem como para identificar oportunidades de melhoria em termos de eficiência e redução de impactos ambientais. Como ressaltado pelos autores, "A avaliação da eco eficiência é essencial para promover a pesca sustentável e a gestão adequada dos recursos marinhos". Por fim, o trabalho de Avadi, Vazquez-Rowe e Freon (2014) contribui significativamente para a pesquisa em sustentabilidade pesqueira, fornecendo informações valiosas para os esforços de conservação e gestão dos recursos marinhos no Peru.

No artigo científico "Environmental Policies and Firm Value," elaborado por Al-Najjar e Anfimiadou (2012) os autores investigam a relação entre as políticas ambientais adotadas pelas empresas e seu valor de mercado. Este estudo se destaca como uma contribuição importante para o campo da economia ambiental, explorando como as ações das empresas em relação ao meio ambiente podem afetar sua avaliação no mercado financeiro. A pesquisa ressalta a crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade nos negócios e como as empresas que adotam políticas ambientais sólidas podem colher benefícios financeiros significativos. Os resultados deste estudo fornecem insights valiosos para investidores, reguladores e gestores de empresas, destacando a necessidade de considerar cuidadosamente as implicações financeiras das práticas ambientais na tomada de decisões estratégicas. Portanto, o trabalho de Al-Najjar e Anfimiadou (2012) ajuda a avançar nosso entendimento sobre a interseção entre sustentabilidade e valor empresarial, promovendo uma abordagem mais holística para o sucesso empresarial no século XXI.

Os autores Munisamy e Arabi (2015) exploram a dinâmica da eco eficiência em usinas de energia, utilizando uma abordagem inovadora baseada no índice de produtividade Malmquist-Luenberger com meta-fronteira. Este estudo é importante para avaliar como as usinas de energia podem melhorar sua eficiência operacional ao mesmo tempo em que reduzem seu impacto ambiental. Ao analisar a eco eficiência em um contexto de meta-fronteira, os autores fornecem insights avançados sobre as melhorias potenciais nas usinas de energia, destacando a importância de alcançar um equilíbrio entre eficiência operacional e responsabilidade ambiental. Portanto, o trabalho de Munisamy e Arabi (2015) contribui significativamente para a pesquisa em energia sustentável, fornecendo uma abordagem valiosa para avaliar e promover a eco eficiência nas operações das usinas de energia, um aspecto crítico na busca por soluções energéticas mais sustentáveis.

E por fim, no artigo científico "Developing Environmental Sustainability by ANP-QFD Approach: The Case of Shipping Operations," dos autores Lam e Lai (2015) abordam a busca por sustentabilidade ambiental no setor de operações de transporte marítimo. Com isso, os

autores, utilizando uma abordagem inovadora que combina a Análise de Rede (ANP) com o Desdobramento da Função de Qualidade (QFD), exploram estratégias para melhorar a sustentabilidade ambiental nas operações de transporte marítimo. Este estudo é essencial, pois destaca a importância de integrar a preocupação ambiental na gestão das operações de transporte global, considerando fatores que vão desde a eficiência energética até a redução das emissões de poluentes. Os resultados desta pesquisa fornecem uma estrutura para as empresas de transporte marítimo avançarem em direção a práticas mais sustentáveis, contribuindo assim para a proteção dos ecossistemas marinhos e para o cumprimento de regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas. Por tudo isso, o trabalho de Lam e Lai (2015) representa um passo significativo na direção da sustentabilidade no transporte marítimo, abordando questões cruciais em relação ao meio ambiente e à indústria global de transporte.

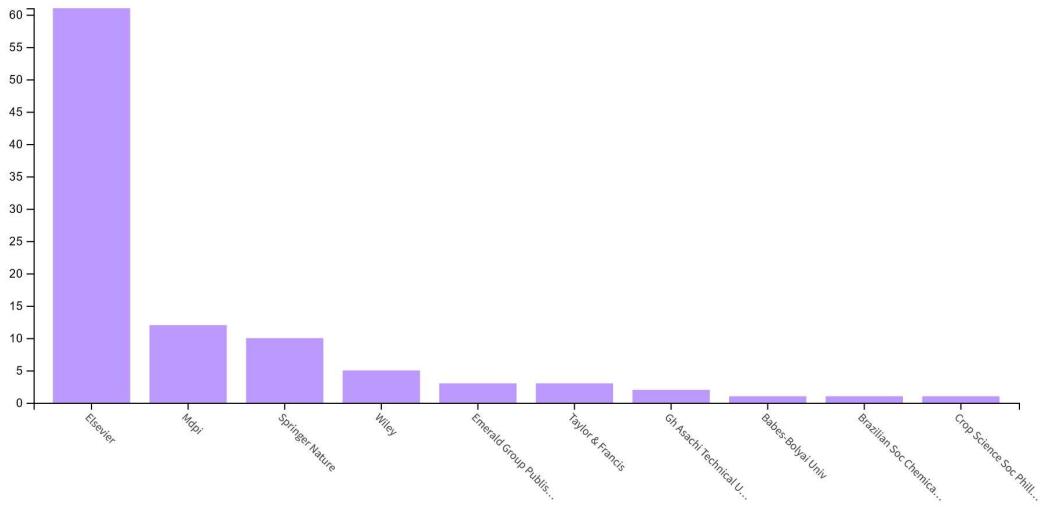
Os artigos científicos abordados neste conjunto de análises científicas oferecem uma visão abrangente e perspicaz das complexas interações entre os aspectos ambientais, econômicos e operacionais em várias áreas de estudo. O foco na ecoeficiência, sustentabilidade ambiental e avaliação de políticas demonstra a crescente conscientização sobre a necessidade de incorporar considerações ambientais em nossas práticas e decisões em diferentes setores.

Através da aplicação de diversas abordagens, como análise de ciclo de vida, análise termodinâmica, avaliação da eco eficiência e modelagem de produtividade, esses estudos reforçam a ideia de que uma abordagem holística é essencial para promover a sustentabilidade e o crescimento econômico sustentável. Eles também destacam a importância de considerar cuidadosamente os impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida de produtos e processos industriais.

3.1.3 Editoras e área de pesquisa de maior publicação

Quanto as editoras nos quais as publicações ocorreram, a Figura 3 apresenta as dez editoras com quantidade de publicações, elencadas pela base.

Figura 3 - Principais editoras em quantidade de publicações



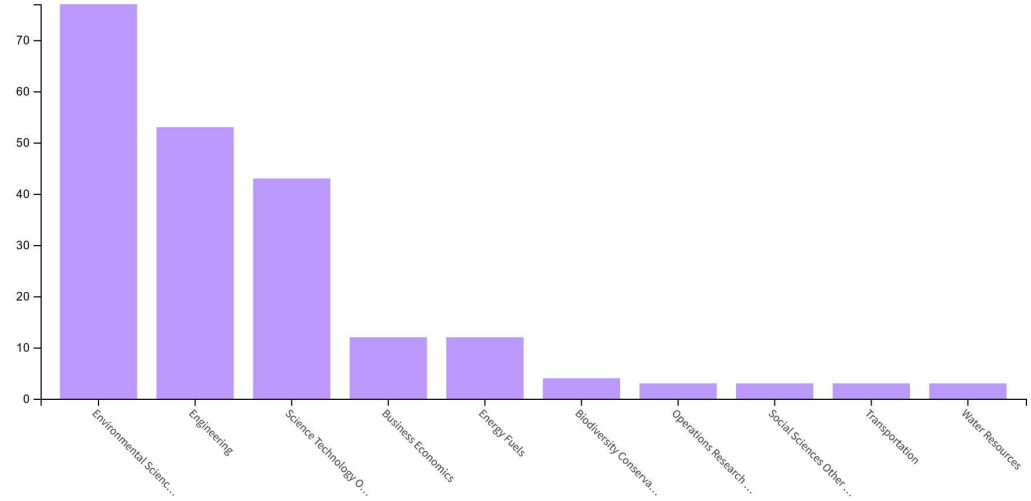
Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

Conforme evidenciado na Figura 3, os trabalhos foram publicados em dez diferentes editoras e evidenciando muitas pesquisas por periódicos, indicando que o tema tem sido estudado continuamente. Percebe-se que a editora Elsevier (61 publicações – 52,14%), Mdpi (12 publicações – 10,26%), Springer Nature (10 publicações – 8,55%), Wiley (5 publicações- 4,27%), Emerald Group Publishing (3 publicações – 2,56%), Taylor & Francis (3 publicações - 2,56%), Gh Asachi Technical Univ Iasi (2 publicações – 1,71%) e as outras 18 editoras com 1 publicação cada e 0,85% cada.

Portanto os dados estão em conformidade com a Lei de Bradford, na qual os periódicos que possuem quatro ou mais artigos são os mais produtivos (Acedo; Cassillas, 2005).

Em relação a área de pesquisa a Figura 4 mostra Environmental *Sciences Ecology* (65,81%) é o que tem maio campo de pesquisa na temática, seguida de *Engineering* (45,30%), *Science Technology Other Topics* (36,75%), *Business Economics* e *Energy* Fuels (10,26% cada) e mais 20 áreas representando menos de 1% cada.

Figura 4 - Principais áreas de pesquisa

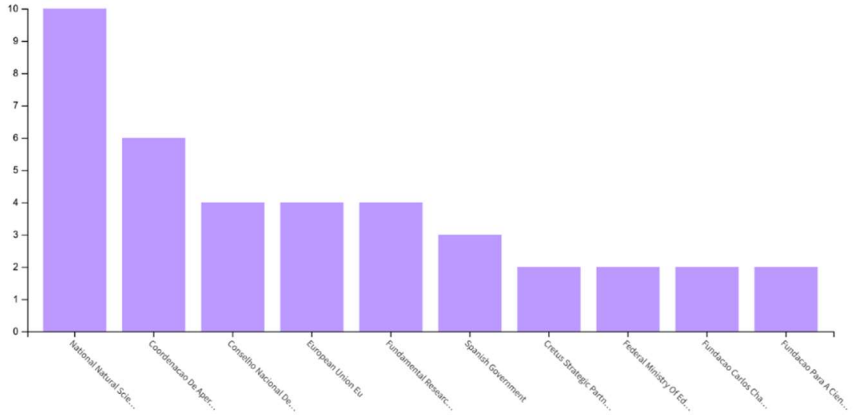


Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.1.4 Agencias financiadoras

No quadro abaixo, estão as quatro maiores Agências financiadoras que compõem a base de análise que apresentaram no mínimo 2 artigos publicados. Conforme se observa no gráfico 5, percebe-se que *National Natural Science Foundation Of China Nsfc* têm 10 artigos financiados publicados, a Coordenacao de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES têm 6 artigos, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico CNPQ, o *European Union Eu* e o *Fundamental Research Funds For The Central Universities* têm 4 documentos publicados. Além disso, o mapeamento da rede de citações por instituições, usando o software VOSviewer, acusou 113 Instituições caso utilizassem apenas 1 artigo por periódicos, no entanto, 49 (41,88%) não contêm dados no campo que analisado de agências financiadoras.

Figura 5 - Principais Agências Financiadoras de Pesquisa



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

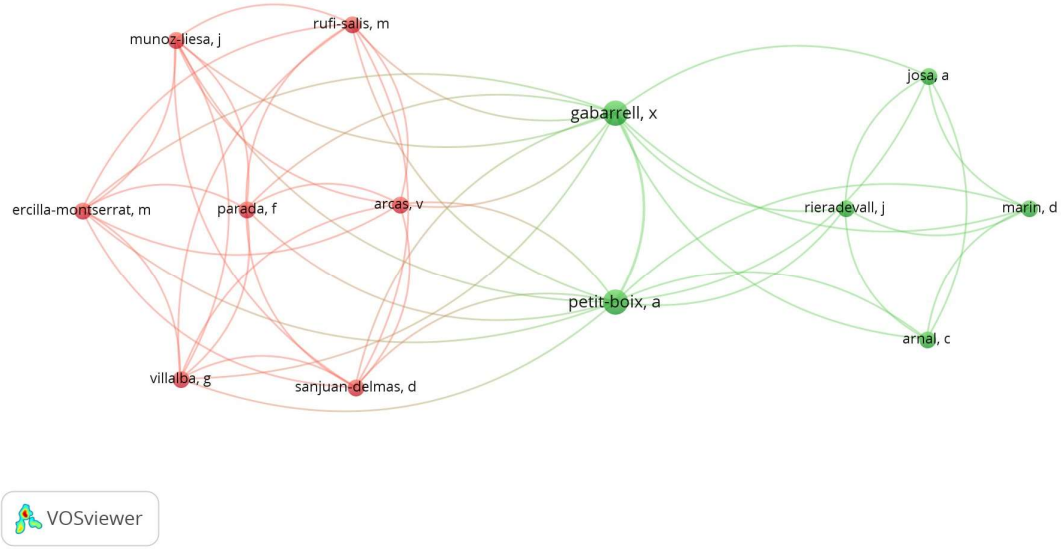
3.1.5 Autores mais produtivos

No que compete à elaboração desta rede com relação aos autores mais produtivos abordando a temática de "*eco-efficiency*" AND "*operations*", ao todo, 404 autores estavam presentes na amostra, com pelo menos 3 documento por autor, formando 6 Clusters. Os autores mais produtivos foram Feijoo e Moreira (4 artigos cada autor), Herrmann, Prata, Santos e Sellitto (3 artigos cada autor).

Para os 404 autores estavam presentes na amostra, com pelo menos 1 documento por autor, já formando 13 Clusters.

Portanto, está em conformidade com a Lei de Lotka, a qual afirma que a concentração da produção de uma determinada temática deve estar em poucos autores. A Figura 6 ilustra o referido 13 clusters e os autores que dele fazem parte.

Figura 6 – Autores mais produtivos e Co-Autoria

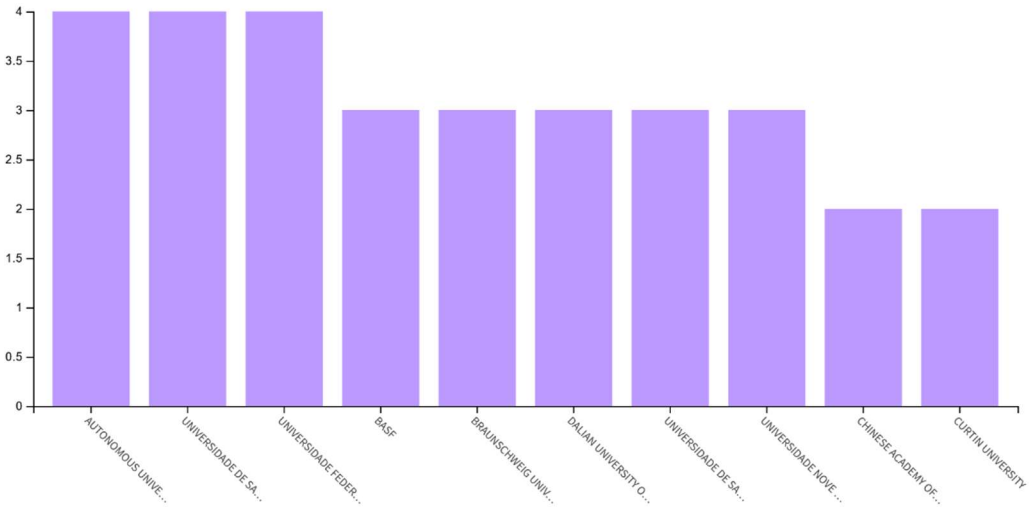


Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.1.6 Afiliações

Na figura abaixo, estão as dez maiores Instituições que compõem a base de análise que apresentaram no mínimo 2 artigos publicados. Conforme se observa no Figura 7, percebe-se que o AUTONOMOUS UNIVERSITY OF BARCELONA, UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA e UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (4 publicações cada), BASF, BRAUNSCHWEIG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY , DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY , UNIVERSIDADE DE SAO PAULO e UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO (3 publicações cada).

Figura 7 - Principais Afiliações de Pesquisa



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

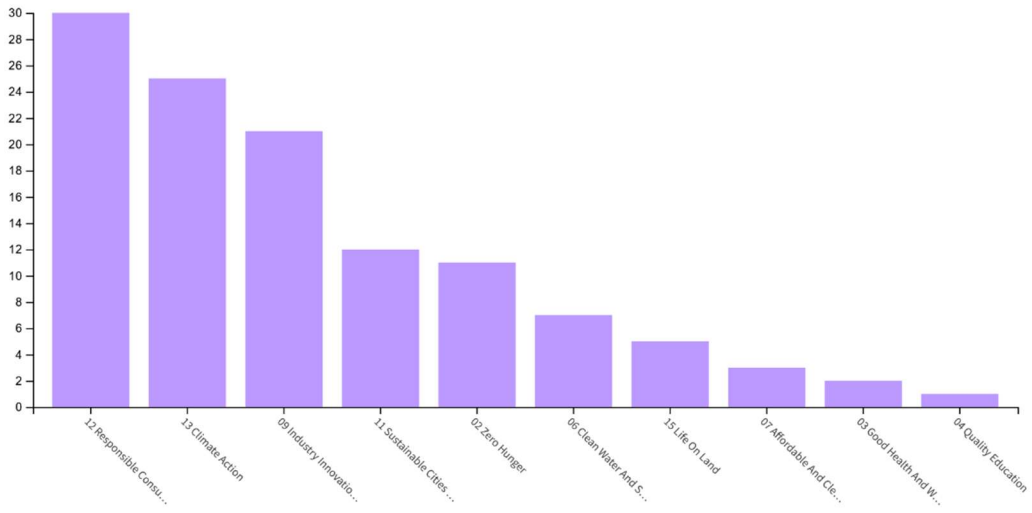
Além disso, o mapeamento das filiações por instituições, usando o software VOSviewer, acusou 226 Instituições caso utilizassem no mínimo 1 artigo.

3.1.7 Relação com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Na figura abaixo, estão as dez maiores temas do Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) citados, que compõem a base de análise e que apresentaram no mínimo 1 artigos publicados. Foram Encontrados 10 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável trabalhados na temática "*eco-efficiency*" AND "*operations*".

Dentro desses objetivos foram encontrados 30 registros para o tema 12 - Consumo e Produção Responsáveis, 25 registros no tema 13- Ação contra a Mudança Global do Clima, 21 registro no tema 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura, 12 registro no tema 11- Cidades e Comunidades Sustentáveis, 11 registros no tema 2- Fome Zero e Agricultura Sustentável, 7 registros no tema 6- Água Potável e Saneamento, 5 registros no tema 15- Vida Terrestre, 3 registros no tema 7- Energia Limpa e Acessível, 2 registro no tema 3- Saúde de Qualidade e 1 registro no tema 4 - Educação de Qualidade. Percebe-se que não houve pesquisas na Temática com os objetivos 1 - Erradicação da Pobreza, 5 - Igualdade de Gênero, 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico, 10 - Redução das Desigualdades, 14 - Vida na Água, 16 - Paz, Justiça e Instituições Eficazes e 17 - Parcerias e Meios de Implementação.

Figura 8 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

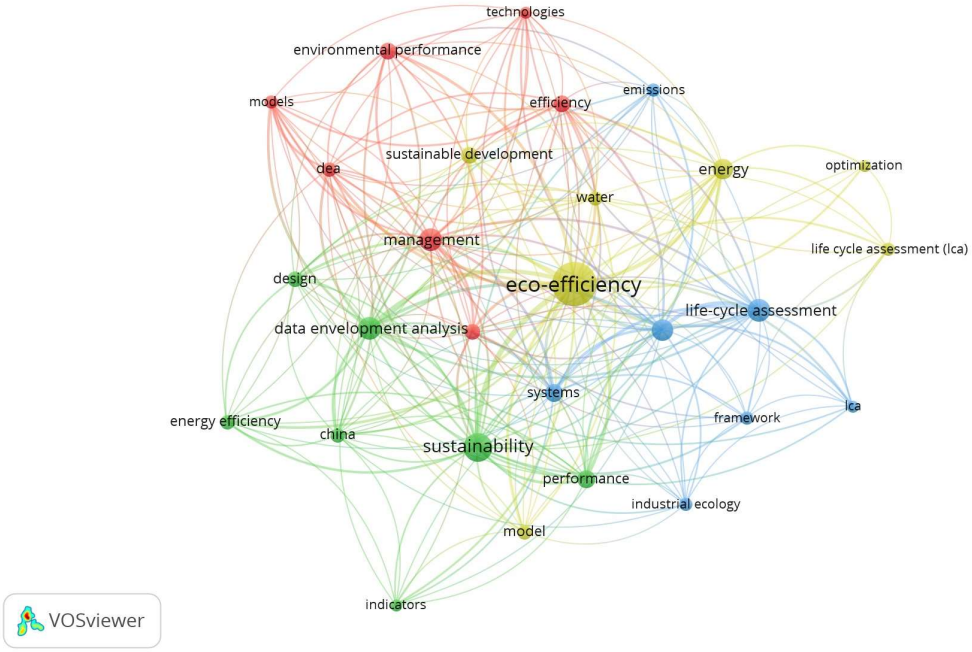


Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.1.8 Palavras Chaves

Foram observadas 765 palavras chaves, formando 28 palavras chaves, em mínimo 5 documentos. Portanto, segundo a Lei de Zipf, que tenta mensurar a frequência de palavras no texto, e se há um relacionamento entre elas, como ocorreu na figura 9, confirmamos a utilização da Lei segundo (Vanti, 2002).

Figura 9 – Ocorrência de Palavras Chaves



Fonte: Dados da Pesquisa (2023)

3.1.9 Trabalhos relacionados (Revisões de Literatura)

Com os artigos levantados no banco de dados Web of Science com as palavras chaves "*eco-efficiency*" AND "*operations*" em resumos, foram encontrados três revisões de literatura conforme demonstrado no quadro abaixo.

Quadro 2 – Relação de artigos relacionados

Título	Autores	Periódico	Fator de Impacto últimos 5 anos	Ano da Publicação	Total de Citações
The dynamics of green supply chain management within the framework of renewable energy	Gawusu et al.	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH	4,6	2022	24
Eco-efficiency in primary metals production: Context, perspectives and methods	van Berkel, R	RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING	13,4	2007	38
The intersection of blockchain technology and circular economy in the agri-food sector1	Pakseresht, et al.	SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION	11,1	2023	5

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4 Considerações Finais

Percebeu-se ao mapear a temática eco eficiência e operações que os estudos abordaram diversas facetas da eco eficiência e sustentabilidade ambiental em diferentes contextos e setores. Esses estudos têm se concentrado em avaliar a eficiência de recursos, redução de impactos ambientais, adoção de práticas sustentáveis e estratégias para melhorar a eco eficiência em várias operações e processos. Embora as abordagens e métodos variem entre essas pesquisas, todas elas compartilham o objetivo comum de promover práticas mais sustentáveis e eficientes em termos de recursos. Esses estudos contribuem significativamente para o acúmulo de conhecimento e oferecem insights valiosos para a tomada de decisões sustentáveis em diferentes setores da indústria e da gestão ambiental.

Lacunas encontradas e sugestões de pesquisas futuras

A revisão abrangente dos artigos científicos apresentados neste estudo destaca uma série de contribuições significativas para o campo do eco eficiência e sustentabilidade ambiental em diversos setores. No entanto, também revela algumas lacunas importantes que podem direcionar futuras pesquisas nesta área em constante evolução.

Uma das lacunas identificadas é a necessidade de uma abordagem mais integrada e holística para a avaliação da ecoeficiência. Muitos estudos ainda se concentram em métricas específicas de eficiência sem considerar totalmente os impactos ambientais e sociais em toda a cadeia de valor. Pesquisas futuras podem se concentrar no desenvolvimento de modelos e metodologias mais abrangentes que levem em consideração todas as dimensões da sustentabilidade.

Outra lacuna importante é a falta de estudos de caso em determinados setores e regiões geográficas. A eco eficiência é altamente contextual e depende das características específicas de cada setor e localização. Portanto, é crucial realizar mais pesquisas empíricas que examinem as práticas e desafios de eco eficiência em diferentes contextos.

Além disso, os estudos revisados muitas vezes se concentram em avaliar a eco eficiência em um momento específico, sem considerar totalmente a dinâmica ao longo do tempo. Pesquisas futuras podem explorar abordagens de avaliação da eco eficiência ao longo do ciclo de vida, levando em consideração as mudanças nas práticas e tecnologias ao longo do tempo.

A mensuração da eco eficiência muitas vezes depende de dados e indicadores disponíveis, o que pode ser limitante em alguns casos. Portanto, é necessário desenvolver métodos mais avançados de coleta e análise de dados, bem como explorar o uso de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de big data, para melhorar a precisão das avaliações de ecoeficiência.

Além disso, à medida que as preocupações ambientais continuam a crescer, é fundamental considerar a adoção de abordagens de eco eficiência em setores que até agora têm recebido menos atenção, como a indústria de tecnologia e serviços.

Em conclusão, embora os estudos revisados tenham contribuído significativamente para o entendimento da eco eficiência e sustentabilidade ambiental em vários contextos, existem lacunas que precisam ser abordadas em futuras pesquisas. Uma abordagem mais integrada, estudos de caso abrangentes, considerações ao longo do tempo, avanços na coleta de dados e a expansão para novos setores são áreas promissoras para pesquisas futuras que podem contribuir para a promoção de práticas sustentáveis e eficientes em termos de recursos em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

AL-NAJJAR, Basil; ANFIMIADOU, Aspioni. Environmental policies and firm value. *Business Strategy and the Environment*, 2012, 21.1: 49-59.

AVADÍ, Ángel; VÁZQUEZ-ROWE, Ian; FRÉON, Pierre. Eco-efficiency assessment of the Peruvian anchoveta steel and wooden fleets using the LCA+ DEA framework. *Journal of cleaner Production*, 2014, 70: 118-131.

BALL, Peter; LUNT, Peter. Lean eco-efficient innovation in operations through the maintenance organisation. *International Journal of Production Economics*, 2020, 219: 405-415.

BARNEY, J. Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, v. 17, n. 1, p. 99–120, 1991.

CAIADO, R. G. G. et al. Towards sustainable development through the perspective of ecoefficiency: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, v. 165, p. 890–904, 2017.

CARVALHO, H. et al. Modelling green and lean supply chains: An eco-efficiency perspective. Resources, Conservation and Recycling, v. 120, p. 75–87, 2017.

CUI, Shibo; WANG, Zixuan. The impact and transmission mechanisms of financial agglomeration on eco-efficiency: Evidence from the organization for economic co-operation and development economies. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 392: 136219.

FIGGE, F.; HAHN, T. Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. Management Accounting Research, v. 24, n. 4, p. 387–400, 2013.

HAN, Xiaoqu, et al. Thermodynamic analysis and life cycle assessment of supercritical pulverized coal-fired power plant integrated with No. 0 feedwater pre-heater under partial loads. *Journal of cleaner production*, 2019, 233: 1106-1122.

HU, Jing, et al. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19.2-3: 221-228.

IRIBARREN, Diego, et al. Benchmarking environmental and operational parameters through eco-efficiency criteria for dairy farms. *Science of the total environment*, 2011, 409.10: 1786-1798.

KELLY, Joe, et al. Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options. *Tourism management*, 2007, 28.2: 377-390.

KOSKELA, M.; VEHMAS, J. Defining eco-efficiency: A case study on the finnish forest industry. Business Strategy and the Environment, v. 21, n. 8, p. 546–566, 2012.

LAM, Jasmine Siu Lee; LAI, Kee-hung. Developing environmental sustainability by ANP-QFD approach: the case of shipping operations. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 105: 275-284.

MADDEN, K. et al. Eco-efficiency: Learning module. Genebra: WBCSD, 2005.

MUNISAMY, Susila; ARABI, Behrouz. Eco-efficiency change in power plants: using a slacks-based measure for the meta-frontier Malmquist–Luenberger productivity index. *Journal of cleaner production*, 2015, 105: 218-232.

ONU. Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. [s. l.]: ONU, 2015.

RAVI, V. Analysis of interactions among barriers of eco-efficiency in electronics packaging industry. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 101: 16-25.

SCHOLZ, Roland W.; WIEK, Arnim. Operational Eco-efficiency: Comparing Firms' Environmental Investments in Different Domains of Operation. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9.4: 155-170.

SONG, Su. Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port. *Atmospheric Environment*, 2014, 82: 288-297.

TSOULFAS, Giannis T.; PAPPIS, Costas P. Environmental principles applicable to supply chains design and operation. *Journal of Cleaner production*, 2006, 14.18: 1593-1602.

UNITED NATIONS. Report of the World Commission on Environment and Development: 96th Plenary Meeting. New York: Nações Unidas, 1987.

YI, Sora; LIM, Hye Sook. Evaluation of the eco-efficiency of waste treatment facilities in Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 411: 125040.