

## Indústria do petróleo e sustentabilidade: mapeamento científico

Oil industry and sustainability: scientific mapping

Industria petrolera y sustentabilidad: mapeo científico

Recebido: 13/05/2022 | Revisado: 21/05/2022 | Aceito: 27/05/2022 | Publicado: 03/06/2022

**Rafael Demetrius Rodrigues de Sousa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0300-8262>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [rafaeldemetrius2@gmail.com](mailto:rafaeldemetrius2@gmail.com)

**Edvânia Torres Aguiar Gomes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0865-4805>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: [edvania.gomes@ufpe.br](mailto:edvania.gomes@ufpe.br)

### Resumo

A indústria do petróleo consiste em uma atividade produtiva que integra recursos humanos, econômicos e ambientais, apesar de todo o desenvolvimento econômico e geração de renda, tem impactos significativos no meio ambiente e coloca em risco a saúde humana, uma vez que descarrega grande quantidade de poluentes no meio ambiente. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo mapear o estado da arte de estudos realizados sobre a indústria do petróleo, visando contribuir no direcionamento de pesquisas futuras e na formulação de políticas públicas. Para tanto, foi realizado uma análise bibliométrica de artigos científicos produzidos nos últimos cinco anos (2017-2021) e indexados na *Web of Science* e *Scopus*. Para a busca foram combinadas palavras-chave e os operadores booleanos AND e OR: (("Petroleum industry" OR "Oil Industry" OR "Oil Royalties") AND ("Environmental Compensation" OR "sustainable" OR "Exploration laws")), os artigos obtidos foram analisados com o pacote bibliometrix do software R. Foram analisados um total de 101 artigos científicos publicados em 76 periódicos e desenvolvidos por 389 autores, 11 deles com autoria única e verificou-se uma média de 3,85 autores por documento, 4,06 coautores por documento e um índice de colaboração de 4,21. As publicações tiveram como foco o desenvolvimento sustentável, por meio da conversão dos resíduos dessas indústrias em novos produtos, alternativas para mitigar os graves danos ambientais decorrentes da exploração desse mineral ou mesmo voltados para melhorar os sistemas existentes, buscando uma melhor eficiência energética e menor emissão de gases do efeito estufa.

**Palavras-chave:** Bibliometria; Petróleo; Desenvolvimento Sustentável; Ensino em saúde.

### Abstract

The oil industry consists of a productive activity that integrates human, economic, and environmental resources, despite all the economic development and income generation, it has significant impacts on the environment and puts human health at risk, since it unloads large amounts of pollutants in the environment. In this sense, the present study aimed to map the state of the art of studies carried out on the oil industry, aiming to contribute to the direction of future research and the formulation of public policies. To this end, a bibliometric analysis of scientific articles produced in the last five years (2017-2021) and indexed in the *Web of Science* and *Scopus* were carried out. Keywords and the Boolean operators AND and OR were combined for the search: (("Petroleum industry" OR "Oil Industry" OR "Oil Royalties") AND ("Environmental Compensation" OR "sustainable" OR "Exploration laws")) the articles obtained were analyzed with the bibliometrix package of the R software. A total of 101 scientific articles published in 76 journals and developed by 389 authors were analyzed, 11 of them with single authorship and there was an average of 3.85 authors per document, 4.06 co-authors per document, and a collaboration index of 4.21. The publications focused on sustainable development, through the conversion of waste from these industries into new products, alternatives to mitigate the serious environmental damage resulting from the exploitation of this mineral, or even aimed at improving existing systems, seeking better energy efficiency and lower emissions of greenhouse gases.

**Keywords:** Bibliometrics; Petroleum; Sustainable development; Health teaching.

### Resumen

La industria petrolera consiste en una actividad productiva que integra recursos humanos, económicos y ambientales, y a pesar de todo el desarrollo económico y generación de ingresos, tiene impactos significativos en el medio ambiente y pone en riesgo la salud humana, ya que descarga grandes cantidades de contaminantes en los medioambiente. En ese sentido, el presente estudio tuvo como objetivo mapear el estado del arte de los estudios realizados sobre la industria petrolera, con el objetivo de contribuir para la dirección de futuras investigaciones y la formulación de políticas públicas. Para ello, se realizó un análisis bibliométrico de artículos científicos producidos en los últimos cinco años (2017-2021) e indexados en *Web of Science* y *Scopus*. Las palabras clave y los operadores

booleanos AND y OR se combinaron para la búsqueda: (("Industria petrolera" OR "Industria petrolera" OR "Regalías petroleras") AND ("Compensación ambiental" OR "sostenible" OR "Leyes de exploración")), la los artículos obtenidos se analizaron con el paquete bibliometrix del software R. Se analizaron un total de 101 artículos científicos publicados en 76 revistas y desarrollados por 389 autores, 11 de ellos con autoría única y hubo una media de 3,85 autores por documento, 4,06 co -autores por documento y un índice de colaboración de 4,21. Las publicaciones se centraron en el desarrollo sostenible, a través de la conversión de residuos de estas industrias en nuevos productos, alternativas para mitigar los graves daños ambientales derivados de la explotación de este mineral o incluso encaminadas a mejorar los sistemas existentes, buscando una mayor eficiencia energética y menores emisiones. gases de invernadero.

**Palabras clave:** Bibliometría; Petróleo; Desarrollo Sustentable; Enseñanza en salud.

## 1. Introdução

A indústria do petróleo consiste em uma atividade produtiva que integra recursos humanos, econômicos e ambientais. Essa indústria contribui significativamente para o crescimento econômico em países em desenvolvimento e atualmente a maioria das economias dependem do petróleo e derivados, sobretudo os países mais industrializados e desenvolvidos que consomem mais este recurso do que os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos (Varjani et al., 2020; Negi et al., 2021).

Entre os maiores consumidores de petróleo no mundo, estão os Estados Unidos que em 2020 ocupou a primeira posição, consumiu 20,54 milhões de barris/dia (20% do total mundial), seguido pela China, com consumo médio de 14,01 milhões de barris/dia de petróleo (14% do total mundial) e a Índia, com 4,92 milhões de barris/dia (5% do total mundial). O Brasil figura o sétimo lugar, com consumo de cerca de 3,14 milhões de barris/dia (3% do total mundial) (US Energy Information Administration, 2021).

Considerando a produção, no ranking mundial dos maiores produtores de petróleo em 2020, estão os Estados Unidos (16,61 milhões de barris/dia), a Arábia Saudita (10,81 milhões de barris/dia) e a Rússia (10,50 milhões de barris/dia), que ocupam o primeiro, segundo e terceiro lugares, respectivamente. Os demais países que participam desse ranking são Canadá, China, Iraque, Emirados Árabes, Brasil, Irã e Kuwait. O Brasil manteve sua posição, sendo o 10º maior produtor de petróleo no mundo. Com o pré-sal e a descoberta de grandes reservas em águas profundas país tem potencial para se posicionar ainda melhor na lista de maiores produtores mundiais (US Energy Information Administration, 2021).

Apesar de todo o desenvolvimento econômico e geração de renda, a indústria do petróleo tem impactos significativos no meio ambiente e coloca em risco a saúde humana, uma vez que essa indústria descarrega grande quantidade de poluentes no meio ambiente. Um desses poluentes são as águas residuais que contêm grandes quantidades de hidrocarbonetos, metais pesados, fenóis e outros produtos químicos tóxicos (Thakur et al., 2018; Varjani et al., 2017) e que podem afetar diferentes componentes do ambiente, como a saúde humana, água potável e recursos hídricos subterrâneos, ar, produção agrícola e vida aquática (Zafra & Cortés-Espinosa, 2015; Varjani et al., 2017). Essa indústria também é responsável por emissões de gases de efeito estufa (GEE), em particular o CO<sub>2</sub>, que contribuem para agravar os efeitos das mudanças climáticas como ondas de calor, secas, inundações, crise alimentar, entre outros danos aos sistemas humanos, sociais e econômicos (Sueyoshi & Wang, 2014).

Diante de tais impactos, é necessário a busca por uma gestão sustentável de empresas do setor petrolífero. No cenário mundial é perceptível a preocupação com as mudanças climáticas e desafios para que um desenvolvimento sustentável seja alcançado. Nesse sentido, no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas foram sugeridas políticas para a redução da emissão de gases de efeito estufa até 2050 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Além disso, essa indústria precisa lidar com pressões de mercado, visto que cada vez mais consumidores rejeitam produtos e serviços de empresas que não possuem uma preocupação com o desenvolvimento sustentável, ainda que estas apresentem preços mais

baixos (Sueyoshi & Goto, 2014), motivos pelos quais a indústria do petróleo precisa mudar suas operações comerciais para se adaptar a várias regulamentações para redução dos impactos negativos ao meio ambiente.

Mapear estudos existentes pode contribuir para fomentar e direcionar futuras pesquisas acerca dessa indústria, nesse sentido, as análises bibliométricas podem ser utilizadas visto que forneçam análises objetivas, confiáveis e que possibilitam a mensuração e a avaliação de resultados de pesquisas (Aria & Cuccurullo, 2017). Portanto, o presente estudo teve como objetivo a partir uma análise bibliométrica mapear o estado da arte de estudos realizados sobre a indústria do petróleo, visando contribuir no direcionamento de pesquisas futuras e na formulação de políticas públicas.

## 2. Metodologia

### 2.1 Bases consultadas, protocolo de pesquisa e seleção de artigos

Para mapear o estado da arte sobre as publicações científicas relacionadas a indústria do petróleo, foi realizada uma revisão sistemática, que conforme definida por Cook et al., (1995) é “a aplicação de estratégias científicas que limitam o viés pela montagem sistemática, avaliação crítica e síntese de todos os estudos relevantes sobre um tópico específico” e visa fornecer uma síntese abrangente e imparcial de muitos estudos relevantes em um único documento (Khan et al., 2003; Tricco et al., 2011).

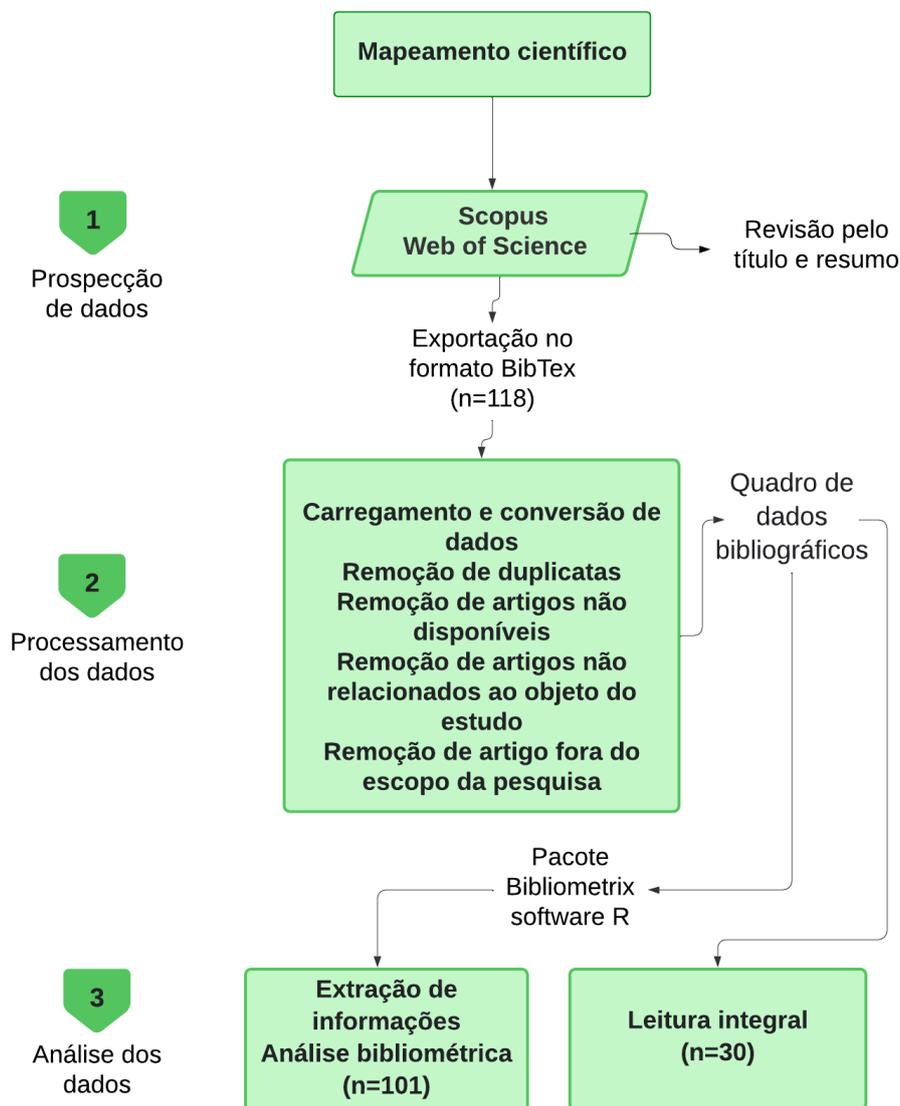
Foram considerando artigos científicos produzidos nos últimos cinco anos (2017-2021) e indexados nas bases *Web of Science* (<http://www.webofknowledge.com>) e *Scopus* (<http://www.scopus.com>), bases multidisciplinares e que possuem abrangência nacional e internacional. O protocolo de busca consistiu na combinação de palavras-chave e os operadores booleanos AND e OR: (“Petroleum industry” OR “Oil Industry” OR “Oil Royalties”) AND (“Environmental Compensation” OR “sustainable” OR “Exploration laws”).

A revisão sistemática foi desenvolvida considerando as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) que consiste em um conjunto mínimo de recomendações baseadas em evidências projetadas principalmente para incentivar uma comunicação transparente e completa (Liberati et al., 2009). Como critério de inclusão foram considerados todos os artigos obtidos após o refinamento da busca e foram excluídos (critérios de exclusão): i) artigos não disponíveis; ii) artigos não relacionados ao objeto do estudo; e iii) artigos fora do escopo da pesquisa.

### 2.2 Análise bibliométrica

As variáveis foram analisadas estatisticamente e os gráficos foram gerados a partir do pacote bibliometrix do software R (Aria & Cuccurullo, 2017). Foram analisadas a estrutura conceitual por meio da análise de palavras-chave plus e palavras-chave do autor, e análise de copalavras dos artigos por meio da técnica de correspondência múltipla; e a estrutura intelectual foi avaliada por meio da rede de cocitação de atores. Na Figura 1 é possível observar a sequência do desenvolvimento metodológico do presente estudo.

**Figura 1.** Fluxograma do processo de mapeamento científico sobre a indústria do petróleo.

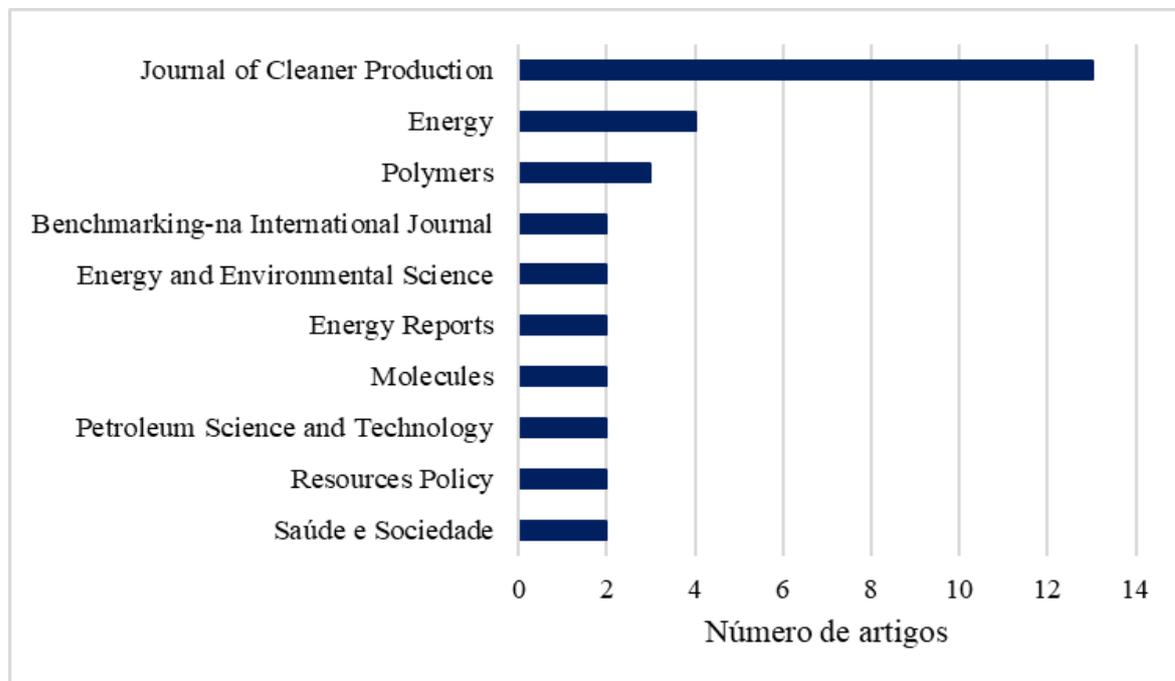


Fonte: Autores (2022).

### 3. Resultados e Discussão

A partir das palavras-chave e operadores booleanos utilizados foram identificados 118 artigos científicos, publicados nos últimos cinco anos e indexados nas bases *Web of Science* (53 publicações) e *Scopus* (65 publicações) relacionados com a indústria do petróleo. Após a remoção de arquivos duplicados, um total de 101 artigos científicos foram considerados para a análise bibliométrica, esses artigos foram publicados em 76 periódicos e ao considerar a Lei de Bradford, 10 desses periódicos (principais fontes) concentram um terço dos artigos publicados (Figura 2).

**Figura 2.** Ranking com os dez periódicos agrupados pela Lei de Bradford com publicações relacionadas a temática (2017-2021).



Fonte: Autores (2022).

O *Journal of Cleaner Production* destacou-se por contar com o maior número de publicações, esse periódico faz parte do grupo *Elsevier* e tem foco em pesquisas e práticas de produção mais limpa, ambiente e sustentabilidade. Ao tratar de produção mais limpa, a revista refere-se a reduzir a geração de resíduos sem perder eficiência no uso de recursos humanos e ambientais (*Journal of Cleaner Production*, 2022). O maior número de artigos publicados nessa revista, denota uma preocupação dos pesquisadores com as questões ambientais envolvendo a indústria de petróleo e a busca por novas alternativas mais sustentáveis para atender demandas energéticas, sobretudo por medidas mitigadoras para os danos decorrentes das atividades de exploração e produção do petróleo.

Na Tabela 1 estão listados 30 artigos relacionados a indústria do petróleo para os quais foram realizadas leituras na íntegra e que foram selecionados para compor a discussão do presente estudo.

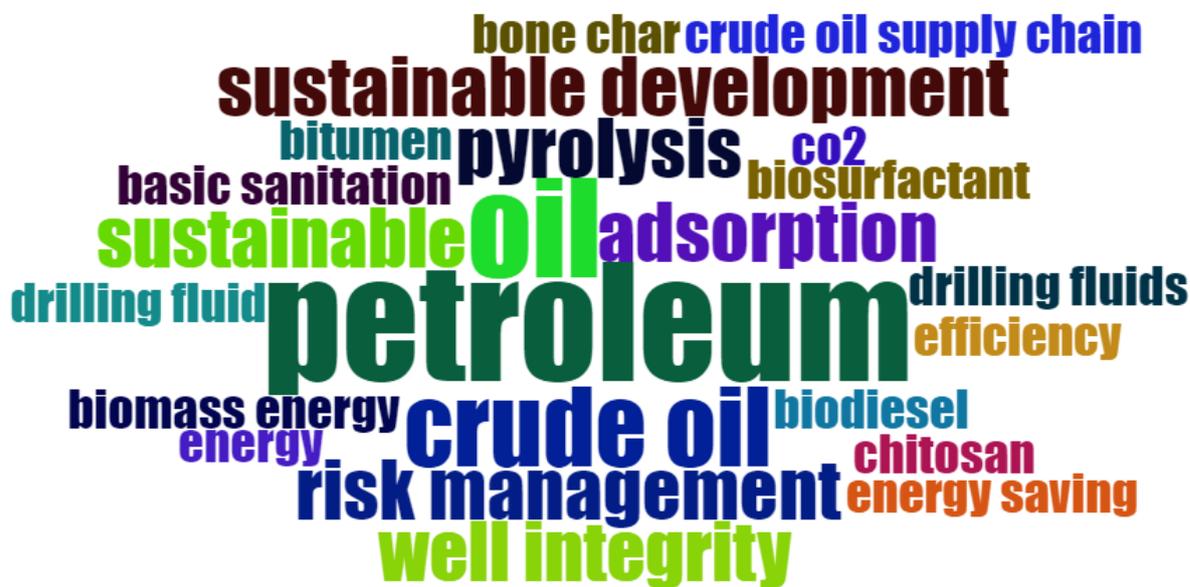
**Tabela 1.** Artigos relacionados a indústria do petróleo lidos na integra.

Artigo	Referência
Exploring options for carbon abatement in the petroleum sector: a supply chain optimization-based approach	Abdussalam, Fello & Chaabane, 2021a
Recent advances and opportunities in planning green petroleum supply chains: a model-oriented review	Abdussalam, Trochu, Fello & Chaabane, 2021b
Do green investments react to oil price shocks? Implications for sustainable development	Dutta, Jana & Das, 2020
An Open Source Approach for Near-Real Time Mapping of Oil Spills along the Mediterranean Coast of Egypt	El-Magd et al., 2021
Efficiency of oil companies in Russia in the context of energy and sustainable development	Filimonova, Komarova, Provornaya, Dzyuba & Link, 2020
Determinants of sustainable supply chain management: A case study from the oil and gas supply chain	Gardas, Raut & Narkhede, 2019
Renewable energies and operational and environmental efficiencies of the US oil and gas companies: A True Fixed Effect model	Jarboui, 2021a
Operational and environmental efficiency of U.S. oil and gas companies towards energytransition policies: A comparative empiricalanalysis	Jarboui, 2021b
An investigation on recycling potential of sulfur concrete	Gulzara, Rahima, Alib & Khan, 2021
Oil industry waste based non-magnetic and magnetic hydrochar to sequester potentially toxic post-transition metal ions from water	Khan, 2021
Sustainability of operations through disruptive technologies in the petroleum supply chain	Kumar & Barua, 2021
An analysis of the efficiency of the oil refining industry in the OECD countries	Lim & Lee, 2021
Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review	Mishra et al., 2021
Hydrophobic Surface Induced Biosorption and Microbial Ex Situ Remediation of Oil-Contaminated Sites	Sharma & Pandey, 2021
Bio-electrochemical system (BES) as an innovative approach for sustainable waste management in petroleum industry	Srikanth, Kumar & Puri, 2018
Isolation and characterization of biosurfactant producing microorganisms from petroleum contaminated soil samples for EOR and bioremediation	Talukdar et al., 2017
Identification and characterization of cadmium resistant fungus isolated from contaminated site and its potential for bioremediation	Talukdar et al., 2020
Sustainable Polysulfides for Oil Spill Remediation: Repurposing Industrial Waste for Environmental Benefit	Worthington et al., 2018
Economic, energy-saving and carbon-abatement potential forecast of multiproduct pipelines: A case study in China	Yuan et al., 2018
A Safety Performance Assessment Framework for the Petroleum Industry's Sustainable Development Based on FAHP-FCE and Human Factors	Zhang, Chen & Sun, 2019
Green supply chain coordination considering government intervention, green investment, and customer green preferences in the petroleum industry	Zhang & Yousaf, 2020
Sustainable and clean oilfield development: How access to wind power can make offshore platforms more sustainable with production stability	Zhang et al., 2021
Inverse Vulcanization of a Natural Monoene with Sulfur as Sustainable Electrochemically Active Materials for Lithium-Sulfur Batteries	Xiao et al., 2021
Economic, energy-saving and carbon-abatement potential forecast of multiproduct pipelines: A case study in China	Yuan et al., 2019
Bioelectrochemical system as an innovative technology for treatment of produced water from oil and gas industry: A review	Cabrera et al., 2021
Risk assessment for oil leakage under the common threat of multiple natural hazards	Qin, Zhang, Hou, Wu & Wang, 2021
Opportunities for utilizing waste cooking oil in crude to petrochemical process: Novel process design, optimal strategy, techno-economic analysis and life cycle society-environment assessment	Zhou et al., 2021
Retrofit application of traditional petroleum chemical technologies to coal chemical industry for sustainable energy-efficiency production	Li, Zhou, Liu, Gao & Li, 2021
Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap	Farahani & Rahmani, 2017
The role of innovation and technology in sustaining the petroleum and petrochemical industry	Hosseini, Silva & Al Kaabi, 2017

Fonte: Autores (2022).

Para os documentos analisados, verificou-se um total de 965 palavras-chave plus (*Keywords Plus*) e 462 palavras-chave do autor (*Author's Keywords*), na Figura 3 é possível observar os 22 termos mais frequentes nos artigos.

**Figura 3.** Nuvem de palavras com os termos mais proeminentes nos artigos (2017-2021).



Fonte: Autores (2022).

As *Keywords Plus* são geradas automaticamente por um algoritmo computacional e consistem em palavras ou frases que aparecem com frequência no título ou referências das publicações, enquanto as palavras-chave do autor são os termos que os autores acreditam representar bem o conteúdo do artigo (Aria & Curccurullo, 2017). Juntos esses termos permitem capturar o conteúdo de um artigo e investigar a estrutura de conhecimento de campos científicos.

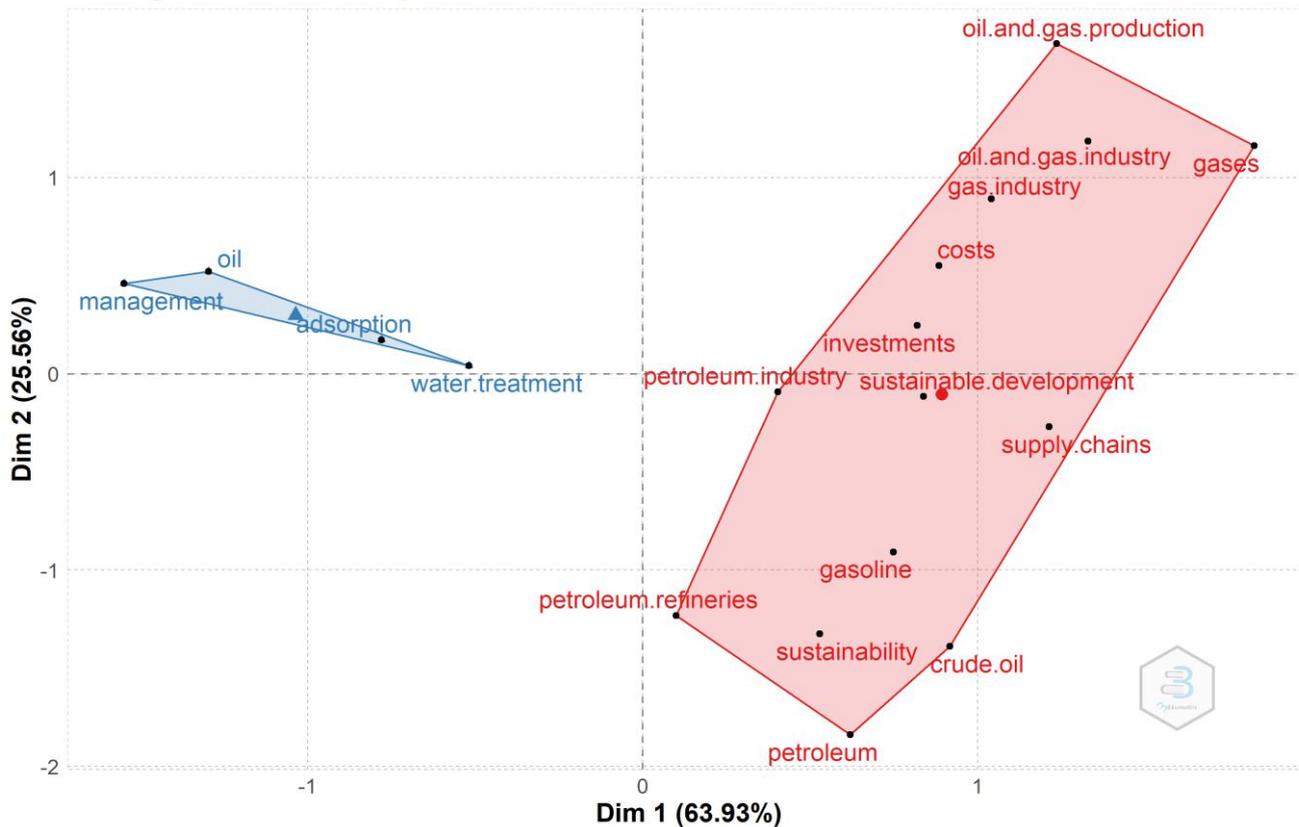
Além dos termos “petróleo”, “óleo”, “óleo bruto” e “sustentável” que ocupam o centro da nuvem de palavras e estão presentes com grande frequência nos artigos científicos, tem-se também o termo adsorção, que se trata de um processo que vem sendo bastante aplicado no tratamento da água produzida de campos de petróleo. Esse processo consiste na transferência de massa de natureza física e/ou química onde o adsorbato contido em um meio fluido, fica retido na superfície de um adsorvente sólido (Sivashankar et al., 2014) que possui alta seletividade, baixo custo e alta eficiência de remoção para diversos contaminantes da água produzida (Zhou et al., 2020).

Em nível mundial, a água produzida representa cerca de 80% dos resíduos totais da indústria de petróleo e gás (Al-Ghouthi et al., 2019). Esse resíduo é gerado durante as fases de exploração e produção de poços petróleo e/ou gás, é um efluente de composição química complexa que apresenta a mistura de compostos orgânicos, inorgânicos e metais tóxicos, como íons de cobre (Cavalcante et al., 2019). Nesse sentido, vários estudos estão sendo desenvolvidos na busca por materiais adsorventes e investigação do mecanismo de adsorção.

Para compreender os tópicos cobertos pelo campo de pesquisa, definir quais são os temas mais importantes e os mais recentes, ou seja, sua estrutura conceitual, foi realizada uma análise de copalavras por meio da correspondência múltipla (MCA) uma técnica exploratória multivariada que permite identificar grupos de documentos que expressam conceitos comuns (Figura 4). A análise de copalavras tem como objetivo usar uma rede de coocorrência de palavras para mapear e agrupar termos extraídos de palavras-chave, títulos ou resumos em uma coleção bibliográfica.

**Figura 4.** Análise de copalavras dos artigos por meio da técnica de correspondência múltipla (MCA) (2017-2021).

**Conceptual Structure Map - method: MCA**



Fonte: Autores (2022).

Na figura é possível observar a formação de dois grupos, neles os termos que apresentam maior proximidade, são aqueles que uma grande proporção dos artigos trata deles juntos e aqueles termos mais distantes, apenas uma pequena fração dos artigos os usam juntos. No grupo azul, tem-se como elemento central, o termo adsorção, acompanhado de “óleo”, “manejo” e “tratamento de água”, que reforça o foco de pesquisas direcionadas a novas alternativas para mitigar os efeitos no ambiente da liberação do principal efluente proveniente das instalações de produção de petróleo e gás, à água produzida.

No grupo vermelho, tem-se como tema central o desenvolvimento sustentável e os termos “investimentos”, “indústria do petróleo” e “cadeia de suprimentos” que possuem maior proximidade, portanto, estão presentes juntos em um grande número de publicações, que por sua vez tratam sobre os investimentos necessários para que os setores de petróleo, refinaria e petroquímica possam atender às regulamentações ambientais, investimentos e implicações para o desenvolvimento sustentável, modelos para o planejamento da cadeia de suprimentos e avaliação do desempenho com base nas dimensões econômica e ambiental; e cadeia de suprimento verde (Abdussalam et al., 2021a; Abdussalam et al., 2021b; Dutta et al., 2020; Kumar & Barua, 2021; Zhang & Yousaf, 2020).

Especificamente tratando da cadeia de suprimentos verde, Q. Zhang et al. (2021) desenvolveram uma pesquisa voltada para a coordenação dessa cadeia de modo a possibilitar alto desempenho, melhorias verdes, considerando preferências verdes do cliente e sob intervenção do governo, os autores propuseram um contrato tarifário em duas partes para alcançar a otimização global da cadeia de suprimentos e auxiliar no alcance de metas sustentáveis. Apontam ainda para a importância da atuação governamental na regulação dos parceiros da cadeia de suprimentos – sem regulamentações governamentais, os participantes da cadeia de suprimentos provavelmente não serão motivados a fazer melhorias verdes apropriadas – e que o grau

ideal de melhorias verdes é influenciado pela intervenção governamental e pelo investimento em tecnologia verde.

Para se manterem competitivas e eficientes, as empresas petrolíferas precisam considerar as soluções potenciais fornecidas por modelos de otimização de gestão da cadeia de suprimentos, uma vez que esses modelos podem contribuir na resolução de diferentes desafios enfrentados por este setor (Abdussalam et al., 2021a). Ressalta-se que modelos de planejamento da cadeia de que focam nas três dimensões da sustentabilidade no setor de petróleo são escassos. E, quando trata da dimensão ambiental, maior atenção é dispensada a emissões de gases de efeito estufa, especialmente impactos do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

De acordo com An, Wilhelm e Searcy, (2011) a indústria de refino tornou-se o terceiro maior produtor estacionário de CO<sub>2</sub> globalmente. Na Figura 4, no grupo vermelho é possível observar o termo “gases” próximo dos termos “indústria de gás e petróleo” e indústria de gás. Os trabalhos que trazem esses termos juntos tratam sobre o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis que resultou no aumento das temperaturas atmosféricas globais, tanto nos sistemas terrestres quanto nos marinhos.

Ainda no grupo vermelho, o termo “óleo bruto” aparece com os termos “sustentabilidade”, “petróleo”, “refinarias de petróleo” e “gasolina”. Artigos com esses termos tratam sobretudo da contaminação de ambientes terrestres e marinhos pelo derramamento de óleo bruto e medidas de remediação dessa poluição para ambos ambientes. Um dos trabalhos teve como foco o desenvolvimento de um modelo que usa Sistemas de Informações Geográficas (SIG) de código aberto e dados também de acesso aberto do Sentinel 1 Synthetic Aperture Radar (SAR) da Agência Espacial Europeia para monitorar a poluição por óleo bruto em ambiente marinho em tempo quase real e criar um relatório para alertar a agência apropriada sobre o derramamento (El-Magd et al., 2021).

Também visando mitigar a poluição de ambientes aquáticos pelo derramamento de óleo e a necessidade de produtos com baixo custo e sustentáveis, Worthington et al. (2018) desenvolveram um polímero polissulfeto de baixa densidade preparado a partir da reação direta de enxofre e óleos de cozinha já usados, uma aplicação totalmente nova e ambientalmente benéfica.

Para derramamentos de óleo em ambientes terrestres, algumas técnicas podem ser adotadas visando a biorremediação do solo contaminado, entre elas a biorremediação microbiana que é uma abordagem mais sustentável e ecológica, contudo, apresenta taxas mais lentas de biodegradação, consistindo em um desafio para os pesquisadores. Estudos recentes investigam a combinação dessa técnica com adsorção (Sharma & Pandey, 2021).

A avaliação da estrutura intelectual dos artigos publicados revela que foram desenvolvidos por 389 autores, 11 deles com autoria única, em se tratando da colaboração, verificou-se uma média de 3,85 autores por documento, 4,06 coautores por documento e um índice de colaboração de 4,21. Para compreender melhor a estrutura intelectual, ou seja, como a obra de um autor influencia uma determinada comunidade científica, foi realizada uma análise de cocitação de autores (Figura 5).



indústria do petróleo (Khan et al., 2020). Por fim no grupo verde, foram agrupados trabalhos relacionados a gestão sustentável da cadeia de suprimentos de petróleo e gás (Gardas et al., 2019).

A partir das publicações avaliadas fica evidente que a estrutura energética global está passando por mudanças importantes e que as fontes de energia renovável estão ganhando espaço nesse cenário, contudo, elas também reforçam o importante papel das indústrias de petróleo e gás no balanço energético e de combustível global e como fonte de receitas. O progresso científico e tecnológico propiciou o aumento da exploração de novas tecnologias para proteção ambiental e eficiência energética, com isso, há uma tendência de que os consumidores optem por produtos e/ou serviços de empresas comprometidas na proteção do meio ambiente (Jarboui, 2021a).

Na busca por uma gestão sustentável de empresas do setor petrolífero, avaliações de eficiência operacional e ambiental são o primeiro passo, nesse sentido, gestores terão de enfrentar o desafio de equilibrar o sucesso operacional e financeiro – que garante alto lucro para os acionistas – com a proteção ambiental, pois esse equilíbrio permite que as empresas permaneçam em um mercado global competitivo e mantenham uma reputação (Filimonova et al., 2020; Jarboui, 2021b).

Em linhas gerais, percebe-se que os trabalhos mais recentes relacionados a temática do petróleo têm foco no desenvolvimento sustentável. Seja por meio da conversão dos resíduos dessas indústrias em novos produtos, alternativas para mitigar os graves danos ambientais decorrentes da exploração desse mineral ou mesmo voltados para melhorar os sistemas existentes buscando uma melhor eficiência energética e menor emissão de gases do efeito estufa.

Por seu grande impacto ambiental negativo, a indústria do petróleo passou a ser alvo de críticas da sociedade e sofre pressão para serem adotadas práticas mais sustentáveis. Contudo, por se tratar de um setor estratégico para os países produtores, projetos de exploração continuam a ser desenvolvidos, nesse contexto, introduzir novos métodos e soluções que permitam melhorar o nível de sustentabilidade em tais projetos é imperativo.

São necessários investimentos significativos para inovação e melhorias nos processos da indústria do petróleo para que metas sustentáveis sejam alcançadas, a intervenção governamental adequada e planejada pode contribuir nesse processo (X. Zhang & Yousaf, 2020). A intervenção governamental pode ocorrer por diferentes instrumentos, como o fornecimento de incentivos financeiros visando reduzir os custos dos produtos verdes e, conseqüentemente, aumentar sua competitividade no mercado, ou mesmo por meio de impostos quando as regulamentações ambientais não forem seguidas (Hafezalkotob, 2015). É necessário cobrar das indústrias de petróleo as boas práticas de responsabilidade social corporativa que tenham a capacidade melhorar as condições e promover o desenvolvimento das comunidades em que atuam (Nwoke, 2019).

#### **4. Considerações Finais**

A indústria do petróleo é um setor estratégico para as economias dos países produtores e ainda que resulte em impactos ambientais negativos, esse mineral continua sendo a maior fonte energética utilizada por vários países do globo terrestre.

Estudos mais recentes sobre a indústria do petróleo concentram esforços na busca por uma melhor eficiência energética e menor emissão de gases do efeito estufa, conversão dos resíduos em novos produtos e em alternativas para mitigar os impactos ambientais decorrentes dessa atividade.

O progresso científico e tecnológico propiciou o desenvolvimento de novas tecnologias para proteção ambiental e eficiência energética, contudo, para alcançar metas mais sustentáveis são necessários investimentos significativos para inovação e melhorias nos processos de exploração e produção do petróleo, nesse sentido, a intervenção governamental adequada e planejada pode contribuir.

Estudos futuros sobre a temática, sobretudo relacionados a modelos de planejamento da cadeia de suprimentos,

sugere-se explorar aspectos relacionados a dimensão social e ambiental da sustentabilidade no setor de petróleo, visto que modelos que contemplem tais dimensões são menos frequentes. Outra proposta de estudos futuros, consiste na intensificação de pesquisas na busca por inovações – seja por meio da inovação tradicional ou inovação aberta – visando manter a eficiência nos processos, mas reduzir danos sociais e ambientais.

## Referências

- Abdussalam, O., Fello, N., & Chaabane, A. (2021a). Exploring options for carbon abatement in the petroleum sector: a supply chain optimization-based approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/23302674.2021.2005174>
- Abdussalam, O., Trochu, J., Fello, N., & Chaabane, A. (2021b). Recent advances and opportunities in planning green petroleum supply chains: a model-oriented review. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28(6), 524–539. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1862935>
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222–239. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2019.02.001>
- An, H., Wilhelm, W. E., & Searcy, S. W. (2011). Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: A literature review. *Biomass and Bioenergy* 35(9), 3763–3774. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.021>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Cabrera, J., Irfan, M., Dai, Y., Zhang, P., Zong, Y., & Liu, X. (2021). Bioelectrochemical system as an innovative technology for treatment of produced water from oil and gas industry: A review. *Chemosphere*, 285, 131428. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131428>
- Cavalcante, M. A., Marques, L. M. de M., Junior, F. D. de S., Pereira, K. R. A., Fagundes, K. R. S., & Fagundes, F. P. (2019). Potential for the application of sugar cane bagasse and rice in the removal of contaminants present in the water produced of petroleum. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 5(2), 0207–0211. <https://doi.org/10.18540/jcecvl5iss2pp0207-0211>
- Cook, D. J., Sackett, D. L., & Spitzer, W. O. (1995). Methodologic guidelines for systematic reviews of randomized control trials in health care from the potsdam consultation on meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 48(1), 167–171. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(94\)00172-M](https://doi.org/10.1016/0895-4356(94)00172-M)
- Dutta, A., Jana, R. K., & Das, D. (2020). Do green investments react to oil price shocks? Implications for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 266. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121956>
- El-Magd, I. A., Zakzouk, M., Ali, E. M., & Abdulaziz, A. M. (2021). An Open Source Approach for Near-Real Time Mapping of Oil Spills along the Mediterranean Coast of Egypt. *Remote Sensing*, 13(14), 2733. <https://doi.org/10.3390/rs13142733>
- Farahani, M., & Rahmani, D. (2017). Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap. *Energy*, 141, 991–1003. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.10.013>
- Filimonova, I. v., Komarova, A. v., Provornaya, I. v., Dzyuba, Y. A., & Link, A. E. (2020). Efficiency of oil companies in Russia in the context of energy and sustainable development. *Energy Reports*, 6, 498–504. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2020.09.027>
- Gardas, B. B., Raut, R. D., & Narkhede, B. (2019). Determinants of sustainable supply chain management: A case study from the oil and gas supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 241–253. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2018.11.005>
- Gulzar, M. A., Rahim, A., Ali, B., & Khan, A. H. (2021). An investigation on recycling potential of sulfur concrete. *Journal of Building Engineering*, 38, 102175. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102175>
- Hafezalkotob, A. (2015). Competition of two green and regular supply chains under environmental protection and revenue seeking policies of government. *Computers & Industrial Engineering*, 82, 103–114. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2015.01.016>
- Hassani, H., Silva, E. S., & al Kaabi, A. M. (2017). The role of innovation and technology in sustaining the petroleum and petrochemical industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 119, 1–17. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2017.03.003>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Aquecimento Global de 1,5 °C - Sumário para Formuladores de Políticas*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>
- Jarboui, S. (2021a). Renewable energies and operational and environmental efficiencies of the US oil and gas companies: A True Fixed Effect model. *Energy Reports*, 7, 8667–8676. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.032>
- Jarboui, S. (2021b). Operational and environmental efficiency of U.S. oil and gas companies towards energy transition policies: A comparative empirical analysis. *Australian Economic Papers*, 1–24. <https://doi.org/10.1111/1467-8454.12245>
- Journal of Cleaner Production. (2022). *Aims and scope - Journal of Cleaner Production*. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production/about/aims-and-scope>
- Khan, K. S., Kunz, R., Kleijnen, J., & Antes, G. (2003). Five steps to conducting a systematic review. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96, 118–121. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query/>

- Khan, M. A., Alqadami, A. A., Wabaidur, S. M., Siddiqui, M. R., Jeon, B. H., Alshareef, S. A., Alothman, Z. A., & Hamedelniei, A. E. (2020). Oil industry waste based non-magnetic and magnetic hydrochar to sequester potentially toxic post-transition metal ions from water. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123247. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.123247>
- Kim, Y., Oh, J. I., Lee, S. S., Lee, K. H., Lee, J., & Kwon, E. E. (2019). Decontamination of petroleum-contaminated soil via pyrolysis under carbon dioxide atmosphere. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117724. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.117724>
- Kumar, S., & Barua, M. K. (2021). Exploring and measure the performance of the Indian petroleum supply chain. *International Journal of Productivity and Performance Management*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2020-0640/FULL/PDF>
- Li, H., Zhou, H., Liu, K., Gao, X., & Li, X. (2021). Retrofit application of traditional petroleum chemical technologies to coal chemical industry for sustainable energy-efficiency production. *Energy*, 218, 119493. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.119493>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), e1–e34. <https://doi.org/10.1016/J.JCLINEPI.2009.06.006>
- Lim, C., & Lee, J. (2020). An analysis of the efficiency of the oil refining industry in the OECD countries. *Energy Policy*, 142, 111491. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2020.111491>
- Mishra, A., Siddiqi, H., Kumari, U., Behera, I. D., Mukherjee, S., & Meikap, B. C. (2021). Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111446. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111446>
- Negi, H., Verma, P., & Singh, R. K. (2021). A comprehensive review on the applications of functionalized chitosan in petroleum industry. *Carbohydrate Polymers*, 266, 118125. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118125>
- Nwoke, U. (2021). (In)Effective Business Responsibility Engagements in Areas of Limited Statehood: Nigeria's Oil Sector as a Case Study. *Business & Society*, 60(7), 1606–1642. <https://doi.org/10.1177/0007650319869672>
- Qin, G., Zhang, P., Hou, X., Wu, S., & Wang, Y. (2020). Risk assessment for oil leakage under the common threat of multiple natural hazards. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 16507–16520. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-08184-7/TABLES/12>
- Sharma, S., & Pandey, L. M. (2021). Hydrophobic Surface Induced Biosorption and Microbial Ex Situ Remediation of Oil-Contaminated Sites. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(26), 9378–9388. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c00974>
- Silva, D. D., Almeida, C. C. de A., & Grácio, M. C. C. (2018). Associação do Fator de Impacto e do Índice h para a avaliação de periódicos científicos: uma aplicação no campo da Ciência da Informação. *Em Questão*, 24(6), 132–151. <https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/86489/52329>
- Sivashankar, R., Sathya, A. B., Vasantharaj, K., & Sivasubramanian, V. (2014). Magnetic composite an environmental super adsorbent for dye sequestration – A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 1(2), 36–49. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2014.06.001>
- Srikanth, S., Kumar, M., & Puri, S. K. (2018). Bio-electrochemical system (BES) as an innovative approach for sustainable waste management in petroleum industry. *Bioresource Technology*, 265, 506–518. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.02.059>
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2014). Photovoltaic power stations in Germany and the United States: A comparative study by data envelopment analysis. *Energy Economics*, 42, 271–288. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.01.004>
- Sueyoshi, T., & Wang, D. (2014). Sustainability development for supply chain management in U.S. petroleum industry by DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 46, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.09.022>
- Talukdar, D., Sharma, R., Jaglan, S., Vats, R., Kumar, R., Mahnashi, M. H., & Umar, A. (2020). Identification and characterization of cadmium resistant fungus isolated from contaminated site and its potential for bioremediation. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100604. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2020.100604>
- Talukdar, P., Sharma, C., Doley, A., Baruah, K., Borah, A., Agarwal, P., & Deori, P. (2017). Isolation and characterization of biosurfactant producing microorganisms from petroleum contaminated soil samples for EOR and bioremediation. *Petroleum Science and Technology*, 35(22), 2102–2108. <https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1384837>
- Thakur, C., Srivastava, V. C., Mall, I. D., & Hiwarkar, A. D. (2018). Mechanistic Study and Multi-Response Optimization of the Electrochemical Treatment of Petroleum Refinery Wastewater. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 46(3), 1700624. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201700624>
- Tricco, A. C., Tetzlaff, J., & Moher, D. (2011). The art and science of knowledge synthesis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 64(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/J.JCLINEPI.2009.11.007>
- US Energy Information Administration. (2021). *Perguntas frequentes (FAQs) - US Energy Information Administration (EIA)*. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=709&t=6>
- Varjani, S., Gnansounou, E., & Pandey, A. (2017). Comprehensive review on toxicity of persistent organic pollutants from petroleum refinery waste and their degradation by microorganisms. *Chemosphere*, 188, 280–291. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.09.005>
- Varjani, S., Joshi, R., Srivastava, V. K., Ngo, H. H., & Guo, W. (2020). Treatment of wastewater from petroleum industry: current practices and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 27172–27180. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-04725-X/TABLES/2>
- Worthington, M. J. H., Shearer, C. J., Esdale, L. J., Campbell, J. A., Gibson, C. T., Legg, S. K., Yin, Y., Lundquist, N. A., Gascooke, J. R., Albuquerque, I. S., Shapter, J. G., Andersson, G. G., Lewis, D. A., Bernardes, G. J. L., & Chalker, J. M. (2018). Sustainable Polysulfides for Oil Spill Remediation: Repurposing Industrial Waste for Environmental Benefit. *Advanced Sustainable Systems*, 2(6), 1800024. <https://doi.org/10.1002/ADSU.201800024>

Xiao, J., Liu, Z., Zhang, W., Deng, N., Liu, J., & Zhao, F. (2021). Inverse Vulcanization of a Natural Monoene with Sulfur as Sustainable Electrochemically Active Materials for Lithium-Sulfur Batteries. *Molecules*, 26(22), 7039. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26227039>

Yuan, M., Zhang, H., Long, Y., Shen, R., Wang, B., & Liang, Y. (2019). Economic, energy-saving and carbon-abatement potential forecast of multiproduct pipelines: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 211, 1209–1227. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.144>

Zafra, G., & Cortés-Espinosa, D. v. (2015). Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Trichoderma* species: a mini review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(24), 19426–19433. <https://doi.org/10.1007/S11356-015-5602-4/FIGURES/1>

Zhang, J., Chen, X., & Sun, Q. (2019). A Safety Performance Assessment Framework for the Petroleum Industry's Sustainable Development Based on FAHP-FCE and Human Factors. *Sustainability*, 11(13), 3564. <https://doi.org/10.3390/SU11133564>

Zhang, Q., Zhang, H., Yan, Y., Yan, J., He, J., Li, Z., Shang, W., & Liang, Y. (2021). Sustainable and clean oilfield development: How access to wind power can make offshore platforms more sustainable with production stability. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126225. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126225>

Zhang, X., & Yousaf, H. M. A. U. (2020). Green supply chain coordination considering government intervention, green investment, and customer green preferences in the petroleum industry. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118984. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118984>

Zhou, K., Zhou, X., Liu, J., & Huang, Z. (2020). Application of magnetic nanoparticles in petroleum industry: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 188, 106943. <https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2020.106943>