

## **Processo de Hidrotratamento de Diesel: uma revisão e prospecção tecnológica**

**Iana Macêdo Santos Machado<sup>1</sup>, Luciana Campos Torres<sup>2</sup>**

(ianamacdo12@gmail.com, torresluciana213@gmail.com)

Professor orientador: Lucas Guimarães Cardoso

### **Resumo**

Este artigo apresenta uma análise sobre a prospecção tecnológica do hidrotratamento de diesel, tendo como objetivo principal identificar e avaliar as tecnologias emergentes e as tendências inovadoras nessa área, com o intuito de fornecer informações que possam auxiliar na obtenção do diesel de melhor qualidade e reduzir seu impacto ambiental. As buscas pelos documentos de patentes foram realizadas através do ESPACENET, utilizando as seguintes nomenclaturas diesel, hydrotreatment and environment que também foram utilizadas no levantamento bibliográfico. Os resultados obtidos, apresentaram um universo total de 134 documentos de patente, no entanto, apenas 4 patentes, tinham como foco o hidrotratamento de diesel e atendiam aos objetivos pretendidos com a pesquisa. Foi observado que existem estudos na área de tecnologia de processo e tipos de catalisadores que auxiliariam melhor as reações de hidrotratamento, sendo os Estados Unidos, Rússia e China os países envolvidos no depósito das patentes utilizadas. Em conclusão, são necessárias mais pesquisas nessa área que visem impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias, promover a inovação e atender às demandas do mercado por combustíveis mais limpos e sustentáveis. Esses avanços podem contribuir para a melhoria da eficiência energética, redução de emissões poluentes e preservação do meio ambiente.

Inicialmente, foi feita uma revisão dos principais desafios enfrentados no refino do diesel, destacando a necessidade de redução de impurezas, como enxofre e compostos nitrogenados, para atender às regulamentações ambientais. Em seguida, foram explorados os avanços recentes no campo do hidrotratamento de diesel, incluindo formulação de catalisadores, otimização de parâmetros operacionais e técnicas de purificação.

Palavras-chave: Diesel. Hidrotratamento. Meio Ambiente.

### **1. INTRODUÇÃO**

O óleo diesel é um combustível fóssil derivado do petróleo bruto, com composição de 9 a 28 átomos de carbono e formulado a partir de diversas correntes provenientes do refino do petróleo, como gasóleo, nafta pesada, diesel leve e pesado (PETROBRAS, 2021). Em 2019, a produção de óleo diesel foi de pouco mais de 40 milhões de m<sup>3</sup>, divididos entre as principais refinarias do Brasil, sendo a Refinaria de Paulínia (REPLAN) a maior produtora com 20,9% do total (ANP, 2020). Já em 2021, a Petrobras registrou um recorde na produção de diesel S-10, com 21,2 bilhões de litros produzidos, e pretensão de aumentar a produção diária adicional de 300 mil barris por dia do diesel S-10 até 2026 (EPBR, 2022).

Por possuir diversos contaminantes químicos em sua composição, como moléculas de óxido de enxofre (SO), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), o óleo diesel pode ocasionar uma série de problemas de saúde, como o aparecimento de doenças respiratórias, com maior incidência de asma, doenças pulmonares (crônicas e bronquite) e problemas cardiovasculares (sobretudo em crianças e idosos). Além disso, a combustão do diesel é um dos fatores que contribuem para o efeito estufa, com a geração de gases que podem destruir a camada de ozônio e como consequência permitir uma maior emissão de raios ultravioletas, destacando-se a chuva ácida, formada devido a produção de compostos SO<sub>x</sub> (OGA et al, 2021).

Diante dos evidentes problemas ambientais causados pelo diesel, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) regulamentou através da Resolução ANP N° 50/2013 a quantidade de contaminantes presentes no óleo diesel. Ficou definido que os óleos diesel de uso rodoviário denominados S-500, podem conter teor máximo de enxofre de 500 mg/kg, e o S-10, com teor máximo de enxofre de até 10 mg/kg, sendo obrigatório para a frota cativo de ônibus urbanos (ANP, 2022). Assim, cada vez mais, se faz necessário a realização de tratamentos que gerem reduções das emissões gasosas resultantes da combustão do diesel, possibilitando o uso desse combustível sem maiores danos ao meio ambiente, as refinarias tiveram que adequar o seu processo de produção de diesel à esta nova condição implementando outras alternativas de processo (SANTANA, 2015).

Dentre as alternativas, o hidrotreatamento consiste na modificação da massa molar e remoção de impurezas presentes em correntes de hidrocarbonetos, com a existência de hidrogênio (H) e de um catalisador, o processo é utilizado nos combustíveis para remoção de compostos de enxofre (S), nitrogênio (N) e oxigênio (O). Tendo como objetivo a estabilidade do combustível através da hidrogenação catalítica de moléculas insaturadas, preparando essas correntes para outros processos de refino ou lhe concedendo especificação de combustível (DIETZ, 2014). Por tanto, considerando a relação entre o hidrotreatamento, saúde e meio ambiente, este artigo tem como objetivo, realizar um levantamento de patentes e tecnologias sobre o estado da técnica atual do processo de hidrotreatamento empregado na indústria de diesel.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Diesel e Regulamentação**

O diesel é o produto mais comum obtido a partir do petróleo refinado e sua composição varia dependendo da fonte de extração do petróleo, sendo composto principalmente de hidrocarbonetos com cadeias carbônicas de 9 a 28 átomos de carbono, o diesel possui teor inicial de enxofre em média de 1000 a 5000 ppm (parte por milhão), e contém pequenas quantidades de outras impurezas como moléculas nitrogenadas, oxigenadas e sulfuradas (CAMELO, 2012). Outrossim, existem sugestões que a demanda por combustíveis derivados do petróleo continuará a crescer e que o óleo diesel S-10 no Brasil terá um crescimento de 6,4% no ano de 2024, com 43, 5 bilhões de litros, quando comparado com o ano de 2022. (EPE, 2023)

A composição química do diesel é um fator importante que influencia o desempenho dos motores, e a proporção de diferentes hidrocarbonetos precisa ser controlada e monitorada para garantir um desempenho consistente durante a produção. A incorporação de hidrocarbonetos mais leves pode provocar, além de falhas do motor, problemas de atomização e lubrificidade e a presença de compostos mais pesados podem conferir ao produto características de instabilidade, dificuldade de escoamento a baixas temperaturas e problemas de queima incompleta com formação de fumaça preta e emissões de particulados. Além disso, o teor de enxofre no diesel pode causar problemas

ambientais, como a chuva ácida, formada pela liberação de óxido de enxofre e óxido de nitrogênio na atmosfera, em grande quantidade formando nuvens de poluição, que em contato com a água da chuva reage quimicamente formando o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e o ácido nítrico ( $HNO_3$ ) (GOMES et al., 2014). O enxofre orgânico é convertido em  $SO_x$ , principalmente o óxido sulfúrico ( $SO_3$ ), quando esse  $SO_x$  entra em contato com o vapor de água presente na atmosfera, é formado o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), contribuindo para a chuva ácida. A quantidade de  $SO_x$  que é emitido se torna diretamente proporcional à quantidade de enxofre existente no combustível (STANISLAUS et al, 2010).

A contribuição do diesel para este fenômeno de poluição, ocorre porque o diesel é composto por frações de petróleo que contêm muitas impurezas, resultando em um combustível de baixa qualidade que, quando queimado, libera poluentes nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. As emissões de escape do diesel contêm óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, material particulado e hidrocarbonetos não queimados. Essas substâncias são irritantes pulmonares e podem causar problemas respiratórios, especialmente o material particulado, que é composto principalmente de núcleos carbônicos (fuligem). (GOMES, 2014).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu em 1986 programas de controle da poluição do ar por veículos automotores, como o PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) para reduzir a contaminação atmosférica. Bem como, a ANP regulamentou essas reduções gradualmente, incentivando o desenvolvimento tecnológico dos motores e das especificações de combustíveis, sendo que para veículos a diesel, a ênfase foi dada às emissões gasosas, especialmente na redução do teor de enxofre. Dessa forma, a ANP estabeleceu que a partir de janeiro de 2013, seria comercializado diesel de 10 ppm de enxofre para a frota de veículos pesados e leves, e a coexistência com diesel contendo até 500 e 1800 ppm de enxofre foi tolerada até janeiro de 2014, quando a comercialização do diesel S-1800 foi descontinuada para uso automotivo (ANP, 2012).

## **2.2. Processo de hidrotreatamento**

O processo de hidrotreatamento se trata de uma técnica que utiliza hidrogênio e um catalisador para tratar hidrocarbonetos sendo amplamente empregado para melhorar as propriedades de diversos produtos, como gás natural, gasolina, diesel, querosene de aviação, querosene e óleos combustíveis. O objetivo é remover impurezas, como compostos de enxofre, oxigênio e nitrogênio, além de realizar a hidrogenação catalítica de moléculas insaturadas. Isso garante a estabilidade do produto, tornando-o um combustível de qualidade ou preparando-o para outros processos de refino, melhorando assim a utilização de cargas pesadas (DIETZ, 2014). Existem diversas variações nos processos industriais de hidrotreatamento que podem ser observadas: condições de operação, tipo de catalisador utilizado, configuração do reator, carga utilizada e intensidade da reação, como variações de temperatura e pressão (CORREA, 2011; DIETZ, 2014).

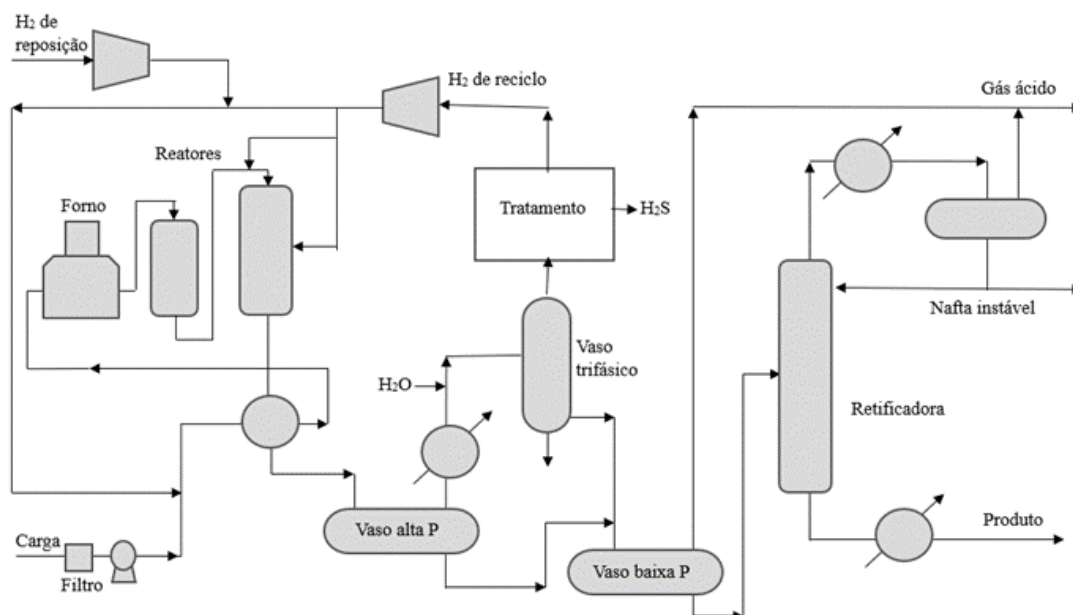
O processo industrial básico de hidrotreatamento, é brevemente descrito, na Figura 1. A carga inicial que chega na unidade de hidrotreatamento, proveniente da destilação, tancagem e craqueamento catalítico é enviada para os filtros, onde ocorre a retenção de possíveis partículas sólidas. Segue para as bombas de carga, adquirindo a pressão necessária para a reação de hidrotreatamento. Em seguida, é adicionada uma corrente de gás hidrogênio composta por hidrogênio puro e de gás de reciclo proveniente do processo. Toda essa mistura vai ser pré-aquecida em permutadores, trocando calor com as correntes

mais quentes provenientes do processo. Logo depois, passará por um forno para atingir a temperatura necessária para que ocorra a reação, posteriormente nos reatores.

Depois que saem do reator, os produtos quentes da reação são resfriados em parte ao passarem por trocadores de calor. Em seguida, a mistura resultante de líquido e gás é direcionada para vasos separadores, onde o gás rico em hidrogênio, a água ácida produzida durante o processo e o combustível hidrotratado são separados. O gás rico em hidrogênio, é submetido a um tratamento com amina para remover o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e, em seguida, é redirecionado para o processo como gás de reciclo.

O óleo hidrotratado gerado contém hidrocarbonetos leves e  $H_2S$  produzido nos reatores, por isso passa por um processo de retificação com vapor para eliminar esses compostos. Depois, o óleo é direcionado para um processo de secagem onde remove a água, adicionada em forma de vapor no processo de retificação, sendo transferido para armazenamento em um tanque como produto final. Os gases que sobram depois do processo, tais como hidrogênio, metano, etano e propano, são aproveitados como combustível nas refinarias. Por fim, o gás sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) é retirado e levado para uma unidade de tratamento e conversão, onde é transformado em enxofre elementar ou ácido sulfúrico.

Figura 1 - Fluxograma de uma unidade de hidrotratamento



Fonte: (adaptado de MEYERS, 2003)

### 3. METODOLOGIA

Para a busca de documentos de patente relacionados ao tema de interesse, foram utilizadas combinações das seguintes palavras: “*diesel, hydrotreatment and environment*” seguidas do conector “and” entre cada palavra, formando assim as palavras-chave para a busca. Foi utilizada a busca avançada e os campos de busca “Título” “Resumo” nas bases de dados de patentes durante a coleta de dados. Os arquivos dos documentos de patentes foram compactados e exportados para o software Microsoft Office Excel 2013, sendo possível realizar o tratamento e análise das informações obtidas dos documentos de patentes encontrados.

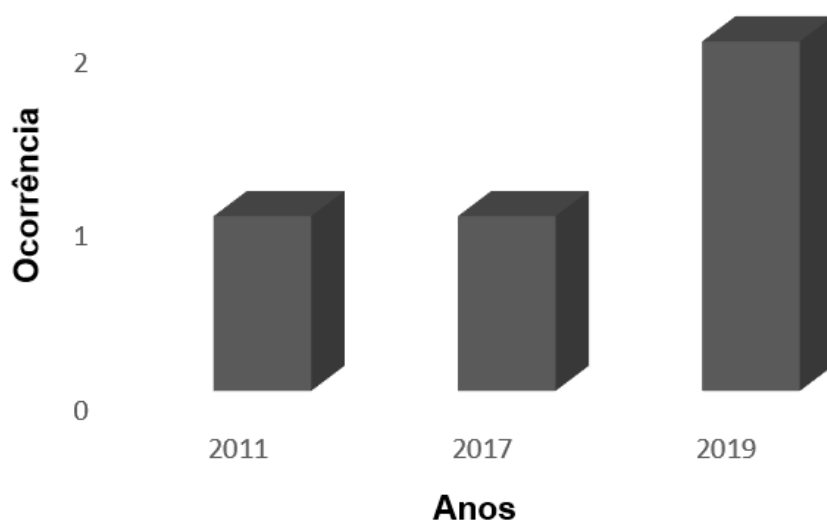
A combinação dessas palavras-chave foi escolhida a fim de obter uma quantidade adequada e suficiente de documentos de patentes para o objetivo proposto. Foi utilizada uma base de dados internacional, European Patent Office (Espacenet), que contém dados sobre mais de 110 milhões de documentos de todo o mundo. Foram analisadas 4 patentes, cujo tema estava relacionado ao hidrotreamento de diesel.

Para a busca de artigos científicos relacionados ao tema de interesse, foi utilizada a mesma combinação de palavras-chave da busca de documentos de patentes (*diesel, hydrotreatment and environment*). Foi utilizada a Biblioteca Eletrônica Científica Online, a SciELO, que se trata de um repositório multidisciplinar para depósito, preservação e disseminação de dados de pesquisa de artigos submetidos ou aprovados para publicação ou já publicados em periódicos da Rede SciELO ou depositados no SciELO Preprints. Dessa forma, para trabalhar com um número adequado, suficiente e atual de artigos, foram utilizados artigos científicos dos últimos 5 anos (2018-2023). A pesquisa gerou 134 resultados, porém, 10 possuíam algumas partes relacionadas ao tema. Os artigos científicos foram exportados para o software Microsoft Office Excel 2013 possibilitando o processamento e análise das informações obtidas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar a evolução anual dos depósitos de patentes Figura 2, pode-se observar que no período de 6 anos (2011-2017) não foram encontrados depósitos de patentes relacionados ao hidrotreamento de diesel. A partir dessa série histórica, pode-se constatar que os estudos com hidrotreamento de diesel são relativamente recentes, datam desde 2011, e apresentam um panorama com aspectos parecidos, como fatores de tecnologia de processo e tipos de catalisadores que auxiliariam melhor as reações de hidrotreamento. Documentos de patentes arquivados desde 2011 a 2019, período em que compreende o primeiro e o último depósitos encontrados, vêm dos Estados Unidos, Rússia e China.

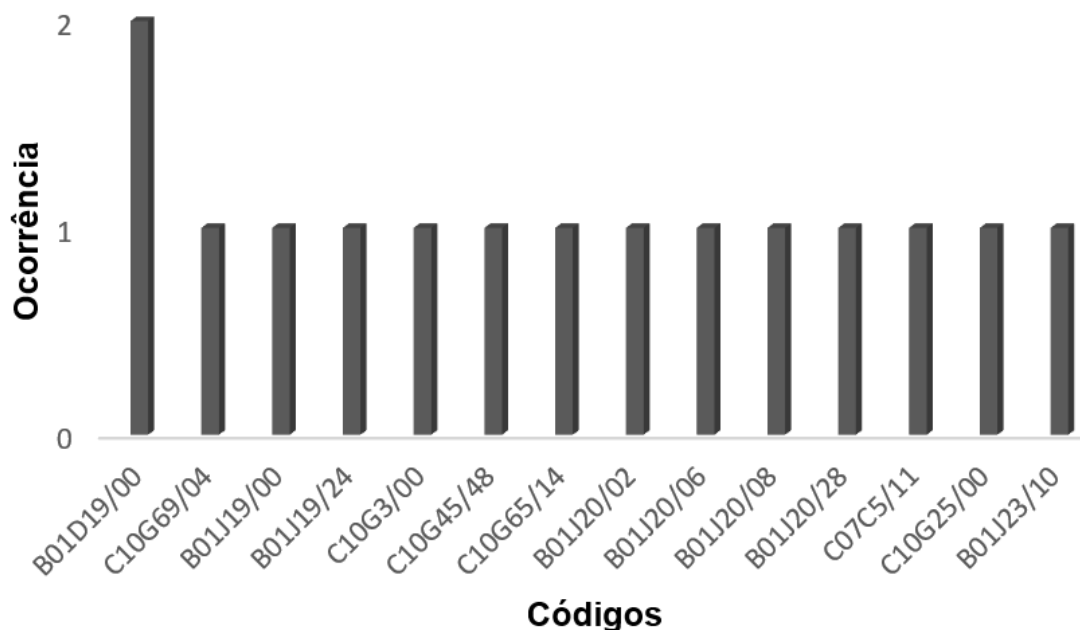
Figura 2 - Evolução anual dos depósitos de patentes.



Fonte: Elaborado pelos autores

Os Códigos de Classificação Internacional usados nos documentos de patentes relacionados ao assunto foram obtidos e são apresentados na Figura 3. Sendo o código mais usado B01D19/00 que trata da desgaseificação de líquidos.

**Figura 3** - Código de Classificação Internacional.



Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 1 apresenta a descrição dos códigos usados para classificar e separar os documentos de acordo com o tema de interesse. Nesse estudo, existem 4 documentos de patentes relacionados ao hidrotreamento de diesel, que se encontram nas seções B e C, nas classes B01, C10 e C07. Com destaque para os subgrupos da classe C10, onde há predominância de códigos C10G45/48 e C10G65/14, que falam sobre o hidrotreamento de hidrocarbonetos, todos relacionados ao tema de interesse. Esse interesse pelo uso do hidrotreamento para o diesel em estudos e processos tecnológicos deve-se a sua aplicabilidade econômica e ecológica, principalmente pela redução de compostos de SOx emitidos na queima desse combustível.

**Tabela 1** - Classificação dos códigos encontrados na busca (diesel, hidrotreamento e meio ambiente).

CÓDIGO	CLASSIFICAÇÃO
B01D19/00	Desgaseificação de líquidos
C10G69/04	Tratamento de óleos hidrocarbonetos por pelo menos um processo de hidrotreamento e pelo menos um outro processo de conversão, incluindo pelo menos uma etapa de craqueamento catalítico na ausência de hidrogênio
B01J19/24	Processos químicos, físicos ou físico-químicos em geral; Aparelho para esses processos; Reatores fixos sem elementos móveis em seu interior
C10G3/00	Produção de misturas líquidas de hidrocarboneto a partir de matéria orgânica contendo oxigênio, p ex. óleos graxos, ácidos graxos
C10G45/48	Refinação de óleos hidrocarbonetos usando hidrogênio ou compostos geradores de hidrogênio contendo metal níquel ou cobalto, ou seus compostos
C10G65/14	Tratamento de óleos hidrocarbonetos apenas por dois ou mais processos de hidrotreamento apenas de várias etapas paralelas
B01J20/02	Composições sólidas sorventes ou composições auxiliares de filtração; Sorventes para cromatografia; Processos para preparo, regeneração ou reativação das mesmas compreendendo material inorgânico

B01J20/06	Compreendendo óxidos ou hidróxidos de metais não previstos no grupo B01J20/04
B01J20/08	Compreendendo óxido ou hidróxido de alumínio; Compreendendo bauxita
B01J20/28	Caracterizados por sua forma ou suas propriedades físicas
C07C5/11	Preparação de hidrocarboneto a partir de hidrocarbonetos contendo o mesmo número de átomos de carbono com hidrogenação parcial
C10G25/00	Refinação de óleos hidrocarbonetos, na ausência de hidrogênio, com sorventes sólidos
B01J23/10	Catalisadores compreendendo metais ou óxidos ou hidróxidos de metais não incluídos no grupo B01J21/00 de terras raras

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos 4 documentos de patentes utilizados, 3 países estavam entre os depositantes. Sendo, os Estados Unidos (EU) o país que obtém o maior número de patentes, totalizando 2 documentos, seguido da China e Rússia com 1 patente, respectivamente. Sabe-se que pesquisas envolvendo o hidrotreatamento de diesel foram de grande interesse para as empresas de petróleo, com evidência para os Estados Unidos, em que a empresa Advanced Energy Materials LLC, possui o maior número de patentes, tendo contrato de licença exclusiva com a Universidade de Louisville.

Investigando a origem dos documentos de patentes obtidos, pode-se constatar os aplicantes das 4 patentes foram, China Petroleum & Chemical que é uma empresa de petróleo e gás, com sua sede em Pequim, ela é a empresa controladora da Sinopec Limited, considerada o maior conglomerado global na área de refino de petróleo, gás e petroquímica (CHINA SINOPEC, 2023).

A Haldor Topsoe é uma companhia dedicada a criação de soluções voltadas a diminuição da emissão de carbono em escala global. Através de tecnologia avançada, catalisadores eficientes e serviços especializados, a empresa busca promover a transição energética, otimizando procedimentos e assegurando alto desempenho. Seu enfoque está direcionado aos setores das indústrias intensivas (tais como aço, ferro e produtos químicos), transporte de longa distância (incluindo aviação, navegação e veículos de carga) e combustíveis ecologicamente corretos (como o diesel com baixo teor de enxofre e o biodiesel) (TOPSOE, 2013).

O depositante Mnushkin Igor Anatolevich, é natural da Rússia, em 1980 concluiu seus estudos na Ufa Oil University (UGNTU). Inicialmente, ele colaborou com Mashkin e Konstatin Bogatykh em um projeto visando aprimorar a eficiência das instalações de refino de petróleo e gás. No entanto, posteriormente ele decidiu deixar o instituto para fundar a Peaton, onde exerce a função de diretor geral e chefe Departamento de Tecnologia e Ciência (RUCRINAL, 2018).

A Advanced Energy Materials LLC, trata-se de uma empresa especializada na criação de catalisadores utilizados na hidrodessulfurização (HDS) em refinarias. A empresa possui um acordo de licenciamento exclusivo com a Universidade de Louisville, que lhe confere um portfólio de patentes (CIENCE, 2023).

A Tabela 2 apresenta a tabela de escopo que contém as informações, como título, inventores, aplicantes e os códigos sobre os 4 documentos de patentes encontrados. No resumo dos documentos de patentes analisados, foi possível identificar etapas do método de processamento combinado de hidrotreatamento residual e craqueamento catalítico inicialmente com a reação de hidrogenação para separar gás-líquido no efluente com a presença de gás hidrogênio e um catalisador de hidrotreatamento, após reciclar e separar de gases e gasolina de craqueamento catalítico retornam as frações de óleo diesel filtrando os óleos de reciclo e em pasta, e adicionando a um dispositivo de hidrogenação residual.

Foi possível também observar o processo de hidrotreatamento de materiais renováveis com reciclagem otimizada do gás.

Outros documentos de patentes analisados trabalharam com o método de hidrotreatamento de combustível diesel que envolve o fracionamento de óleo diesel em frações leves e pesadas obtidos a partir da destilação direta, seguido pelo hidrotreatamento catalítico separado dessas frações, que reduz o volume de catalisador necessário nos reatores otimizando o processo. E com o processo de dessulfurização de combustível diesel e hidrogenação tolerante ao enxofre de matérias-primas de hidrocarbonetos, que utilizaram nanofios de óxido de zinco decorados com partículas de metal para a remoção do enxofre.

**Tabela 2** – Tabela de escopo.

<b>TÍTULO</b>	<b>INVENTORES</b>	<b>APLICANTES</b>	<b>CÓDIGOS</b>
Hydrotreatment and catalytic cracking deeplycombined method for residuum	Lijing Jiang Tiebin Liu Rui Wu Xinguo Geng Zhaoming Han Minghua Guan	China Petroleum & Chemical Sinopec Fushun Res Inst Pet	C10G69/04
Hydrotreatment of oxygenate feedstock with liquid recycle from low pressure separator	Alkilde Ole Frej [DK] Low Gordon Gongngai [US] Stupin Steven W [US]	Haldor Topsoe AS	B01D19/00 B01J19/00 B01J19/24 C10G3/00 C10G45/48
Hydrotreating method of diesel fuel	Mnushin Igor Anatolevich [RU] Samojlov Naum Aleksandrovich [RU] Zhilina Valeriya Anatolevna [RU]	Mnushin Igor Anatolevich [RU]	C10G65/14
Desulfurization and sulfur tolerant hydrogenation processes of hydrocarbon feedstocks	Sunkara Mahendra [US] Vasireddy Sivakumar [US] He Juan [US]	Advanced Energy Mat LLC [US]	B01D19/00 B01J20/02 B01J20/06 B01J20/08 B01J20/28 C07C5/11 C10G25/00 B01J23

Fonte: Elaborado pelos autores

#### **4.1. Perspectivas Futuras para o Hidrotreatamento no Brasil**

Através desta pesquisa, foi possível realizar uma prospecção tecnológica do processo de hidrotreatamento de diesel, evidenciando o papel do hidrotreatamento na obtenção de um diesel de alta qualidade, com baixo teor de impurezas e menor impacto ambiental.

Nos últimos anos, houve avanços nas pesquisas relacionadas ao hidrotreatamento de diesel. Estudos têm se concentrado no desenvolvimento de catalisadores de hidrotreatamento mais eficientes e seletivos. Um exemplo é o estudo de Smith et al. (2022), que propuseram um novo tipo de catalisador baseado em óxidos mistos de metais de transição, demonstrando uma maior atividade e estabilidade na remoção de contaminantes do diesel. Além disso, pesquisas como a de Zhang et al. (2021) têm se

dedicado ao uso de nanopartículas metálicas suportadas para otimizar o desempenho do hidrotreatamento, melhorando a conversão de compostos de enxofre e nitrogênio.

Outra área de avanço na pesquisa é o desenvolvimento de técnicas de caracterização avançadas para entender melhor as reações de hidrotreatamento. O uso de técnicas como espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) tem permitido uma análise detalhada da estrutura dos catalisadores e das interações moleculares durante as reações. A pesquisa de Li et al. (2023) aplicou a técnica de RMN para investigar a estrutura de catalisadores de hidrotreatamento suportados em nanopartículas.

Além dos avanços em catalisadores e técnicas de caracterização, há também uma crescente pesquisa na área de hidrotreatamento de diesel renovável. Os estudos têm se concentrado no desenvolvimento de rotas eficientes para a produção de diesel a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais. A utilização de processos de hidrotreatamento em biocombustíveis de segunda geração, mostram resultados promissores na redução de contaminantes e na produção de um diesel renovável de alta qualidade (GARCIA et al, 2023).

Outrossim, se trata da implementação do óleo vegetal hidrotreatado, um diesel renovável com a combinação de óleos renováveis e destilado de petróleo produzidos através de um hidrotreatamento, com baixa emissão de carbono (PETROBRAS, 2020). Esse biocombustível ajudaria o Brasil a diminuir as emissões no setor de transporte (SONTHALIA, 2019). A avaliação do ciclo de vida, técnica para observar os impactos ambientais, mostram que o óleo vegetal hidrotreatado tem menor impacto no ciclo de vida que o biodiesel (BONOMI, 2018). O óleo vegetal hidrotreatado pode atingir um melhor desempenho ambiental, ajudando o Brasil a neutralizar o carbono de transportes pesados, explorando das infraestruturas existentes com políticas públicas e produção do biocombustível (JULIO et al, 2023).

## CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, foram mencionadas tecnologias relacionadas ao hidrotreatamento de diesel, incluindo avanços na formulação de catalisadores, otimização de parâmetros operacionais e desenvolvimento de técnicas de purificação. Essas descobertas e tendências tecnológicas ressaltam a constante busca por processos mais eficientes e sustentáveis no refino do diesel.

Além disso, o estudo também destacou a importância do cumprimento das normas de comercialização e regulamentações ambientais para garantir a qualidade e segurança do diesel produzido. A redução do teor de enxofre e a remoção de outras impurezas indesejáveis são aspectos cruciais no processo de hidrotreatamento, visando minimizar os impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente.

Com base nas informações coletadas, é evidente que a prospecção tecnológica no campo do hidrotreatamento de diesel demonstrou a necessidade de maior desenvolvimento de novas soluções e aprimoramento das técnicas existentes. Portanto, avanços nas pesquisas sobre hidrotreatamento de diesel, com referência a estudos específicos, poderão impulsionar a produção de combustíveis mais limpos e sustentáveis. O desenvolvimento de catalisadores mais eficientes, a utilização de técnicas avançadas de caracterização e o foco em fontes renováveis são apenas alguns exemplos das inovações que estão moldando o futuro do hidrotreatamento de diesel. Com mais investimentos e pesquisas contínuas,

espera-se que novas descobertas e avanços promissores ocorram nessa área, contribuindo para a redução de emissões e para a transição para uma matriz energética mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2020. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ANP. **Revisão da Resolução ANP nº 65/2011**. Disponível em: [https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/arq-2012/cp-19-2012/apresentacao\\_audiencia\\_publica.pdf](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/arq-2012/cp-19-2012/apresentacao_audiencia_publica.pdf). Acesso em: 28 jun. 2023.

BONOMI A, Klein BC, Chagas F, Rinke N and Souza D, Comparison of biofuel life cycle analysis tools phase 2, part 1: FAME and HVO/HEFA prepared by IEA. *Bioenergy Task 39:1–93*, 2018.

BRASIL. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Processo SEI nº 48610.221724/2021-76. ‘‘**NOTA TÉCNICA Nº 14/2021/SBQ-CRP/SBQ/ANP-RJ**’’. Rio de Janeiro, 22 de fevereiro de 2022.

CAMELO, M. C. S. Contribuição no desenvolvimento de observadores de estado para o processo de hidrotretamento de óleo diesel (aplicação em controle em inferencial). 2012. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

China Sinopec, **About us**, 2023. Disponível em: <http://www.sinopecgroup.com/group/en/>. Acesso em: 20 maio. 2023.

Cience, **Who is Advanced Energy Materials LLC**, 2023. Disponível em: <https://www.cience.com/company/advanced-energy-materials-llc/-3474212388232297906>. Acesso em: 20 maio 2023.

CORREA, B. M. Estudo sobre Hidrotretamento do refino do petróleo. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

DIETZ, A. C. **Modelagem e simulação de reatores de Hidrotretamento (HDT) de correntes de diesel**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

EPE. Perspectivas para o Mercado Brasileiro de Combustíveis no Curto Prazo, abr 2023.

GARCIA et al. Co-Hydrotreatment of Yellow Greases and the Water-Insoluble Fraction of Pyrolysis Oil. Part I: Experimental Design to Increase Kerosene Yield and Reduce Coke Formation. *v. 37, n. 3, p. 2100–2114*, 11 jan. 2023.

GOMES, H. O.; MELO, T. C. C.; MASSA, C. V. C.; GIONGO, A. Ultra low sulfur diesel fuel performance. XXII Simpósio de engenharia mecânica. Blucher Engineering Proceedings, número 2, volume 1, agosto de 2014.

**IPC publication.** Disponível em: <<http://ipc.inpi.gov.br/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20230101&symbol=none&menulang=pt&lang=pt&viewmode=f&fipipc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes&notes=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>>. Acesso em: 20 maio 2023.

JULIO A.A.V.; Milessi T.S.; Maya D.M.Y.; Lora E.S.; Palacio J.C.E. Assessment of the sustainability and economic potential of hydrotreated vegetable oils to complement diesel and biodiesel blends in Brazil, 2023. Palacio, Excellence Group in Thermal Power and Distributed Generation – NEST, Institute of Mechanical Engineering, Federal University of Itajubá – UNIFEI, Itajubá, Brazil, 2023.

JULIO A.A.V.; Ocampo Batlle E.A.; Trindade A.B.; Nebra S.A.; Reyes A.M.M.; and Escobar Palacio J.C. Energy, exergy, exergoeconomic, and environmental assessment of diferente technologies in the production of bio-jet fuel by palm oil biorefineries. *Energ Conver Manage* 243:114393, 2021.

LI et al. Design of improved CoMo hydrotreating catalyst via engineering of carbon nanotubes@alumina composite support. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 328, p. 122475, 5 jul. 2023.

MANUAL DE DIESEL. **Petrobras**, 2021. Disponível em: [https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel\\_2021.pdf](https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel_2021.pdf). Acesso em: 20 mai. 2023.

MEYERS, R. A., 2003, **Handbook of Petroleum Refining Processes**. 3 ed., McGraw-Hill.

OF, I. **Haldor Topsøe A/S Company description in connection with admission to trading at First North Bond Market**, 27 de junho de 2023. Disponível em: <[https://www.topsoe.com/hubfs/haldor\\_topsoe\\_as\\_company\\_description\\_2013%5B1%5D.pdf?hsLang=en-u](https://www.topsoe.com/hubfs/haldor_topsoe_as_company_description_2013%5B1%5D.pdf?hsLang=en-u)>. Acesso em: 20 maio 2023.

OGA, S.; CAMARGO, M.M.A; BATISTUZZO, J.A.O. (eds). **Fundamentos de Toxicologia**. 5a edição. São Paulo: Atheneu Editora, 2021.

Petrobrás, **Concluimos testes para a produção de diesel**. 14 de julho de 2020. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/concluimos-testes-para-producao-de-diesel-renovavel.htm>>. Acesso em: 31 maio 2023.

PRODUÇÃO E VENDA DE DIESEL S-10 DA PETROBRAS ATINGEM RECORDES E EMPRESA PREVE FIM DO S-500. **EPBR**, 2022. Disponível em:

<https://epbr.com.br/producao-e-venda-de-diesel-s-10-da-petrobras-atingem-records-e-empresa-preve-fim-do-s-500/>. Acesso em: 03 abr. 2023

RUCRIMINAL, **Igor Mnushkin**. Disponível em: <<https://rucriminal.info/en/dosje/85>>. Acesso em: 20 maio 2023.

SANTANA, Simone Simões de Mello. Emissões gasosas de combustão diesel e de biodiesel utilizando motor Euro V e sistema de pós-tratamento SCR em dinamômetro de bancada, 2015.

SEEG. **Brazilian greenhouse Gase estimate system** – in portuguese. 2016.

SMITH et al. Synthesis of Catalytic Precursors Based on Mixed Ni-Al Oxides by Supercritical Antisolvent Co-Precipitation. v. 12, n. 12, p. 1597–1597, 06 dez. 2022.

SONTHALIA A and Kumar N, Hydroprocessed vegetable oil as a fuel for transportation sector: a review. J Energy Inst 92:1–17, 2019.

STANISLAUS, A.; MARAFI, A.; RANA, M. S. Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production. Catalysis Today, v. 153, 2010, p. 1–68. Disponível em: Acesso em: 24 de abr. 2023.

ZHANG et al. MOF-derived Co nanoparticle on nitrogen-rich carbon for fatty acid hydrotreatment into green diesel. Renewable Energy, v. 198, p. 246–253, 1 out. 2022.