

# Mapeamento Científico e Tecnológico do Uso de Glicerina e Soapstock como Fluido de Recuperação Avançada de Petróleo

## *Scientific and Technological Mapping of the Use of Glycerin and Soapstock as Enhanced Oil Recovery Fluid*

Maria Gabriela Sena Amorim<sup>1</sup>

Pedro Clever Carneiro de Almeida Oliveira<sup>1</sup>

Humbervania Reis Gonçalves da Silva<sup>1</sup>

Cristina M. Quintella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil

### Resumo

Grandes quantidades de petróleo ficam retidas nos poços após recuperação primária. Para resolver esse problema, métodos avançados de extração de óleo foram desenvolvidos. O presente estudo mapeou o uso de glicerina e soapstock, subprodutos do biodiesel, como fluidos de injeção para aumentar o fator de recuperação de poços maduros. Utilizou-se o Quest Orbit na busca de patentes, fazendo uso de combinações de palavras com código de classificação internacional associados ao uso de surfactantes como fluídos EOR, em especial a glicerina bruta e o soapstock. As buscas de artigos foram feitas na plataforma Elsevier. Os resultados foram 31 patentes e 107 artigos relacionados, nos quais se observou a difusão das tecnologias a partir de 2015 e as tendências ao desenvolvimento na China, Estados Unidos e Brasil. Notou-se maior difusão do tema em países produtores de petróleo e biodiesel, além de observar a necessidade de maiores investimentos na área, a fim de proporcionar desenvolvimento econômico, social e sustentável.

Palavras-chave: EOR. Glicerina. Soapstock. Prospecção. Patentes.

### Abstract

Large amounts of oil are trapped in the wells after primary extraction. To solve this problem, advanced oil extraction methods were developed. The present study mapped the use of glycerin and soapstock, biodiesel by-products, as injection fluids to increase the recovery factor of mature wells. Questel Orbit was the database used in prospecting, where combinations of key words with international classification codes were used associated with the use of surfactants as EOR fluids, in particular crude glycerin and soapstock. The search for articles was carried out using the advanced search for keywords on the Elsevier platform. The results were thirty-one patents and 107 articles related, where observed a diffusion of Technologies from 2015 and trends in development in China, the United States and Brazil. Greater dissemination of the theme was noted in countries that are major oil and biodiesel producers, in addition to observing the need for greater investments in the area, in order to provide economic, social and sustainable development.

Keywords: EOR. Glycerin. Soapstock.

Área Tecnológica: Prospecção Tecnológica-Científico. Recuperação Avançada de Petróleo.



# 1 Introdução

A partir do início do século XIX, o petróleo passou a ser usado em larga escala, ultrapassando o carvão e iniciando a “idade do petróleo”. O petróleo consolidou o modelo industrial moderno, sendo este composto de setores dinâmicos, linhas de produção e produção em massa, os quais forçaram o desenvolvimento tecnológico e o fomento à pesquisa (CARVALHO, 2014). Depois de muitas décadas de reinado do petróleo, ele foi caracterizado como combustível não renovável, uma vez que seus reservatórios possuem um ciclo de vida bem definido (GASPARETTO, 2015).

Entre 1985 e 2019, houve um aumento global no consumo de petróleo, que teve um crescimento de 39 milhões de bpd (OIL PRICE, 2020). Esse crescimento expressa 1,1 milhão de bpd a cada ano, porém, as reservas comprovadas de petróleo, avaliadas pelo Conselho Mundial de Energia, serão suficientes apenas para atender às demandas em médio prazo (VICHI; MANSOR, 2009). Uma vez que métodos de recuperação primária extraem apenas cerca de 40% do óleo, faz-se necessário o aprimoramento de técnicas de recuperação avançada de petróleo, a fim de explorar campos maduros (BETAEQ, 2017).

Os campos petrolíferos contêm três fases de exploração. A primeira etapa na exploração de campos petrolíferos caracteriza-se pela fase de regulamentação, estudos e interpretação de dados. A segunda fase consiste no desenvolvimento, em que se implementa equipamentos e logística de extração. Feito isso, a fase de produção se inicia e persiste até o momento de maturação do poço, quando se faz necessária a quarta fase, conhecida pelos métodos de recuperação avançada de petróleo (SOARES, 2017).

O petróleo condiciona o alto crescimento da indústria de automóveis por ser um combustível barato e abundante, o que fez se desenvolver uma rede de comércio que depende do petróleo inicialmente para a produção e, posteriormente, como combustível. Consequentemente, a moderna civilização é impulsionada pela indústria automobilística que carece de mudanças nas arquiteturas das cidades, na economia e até nos âmbitos totalmente sociais, como a posse de carros e de empregos que só a exploração dos meios transportes pode oferecer, a exemplo de ônibus, aviões, transportes de carga e outros influentes fortes na pirâmide social (SOARES, 2017).

A partir dessas premissas, a recuperação avançada de petróleo torna-se um tema imprescindível a nível de estudos e de descobertas, sobretudo na Bahia, já que atualmente, em grande parte, os reservatórios do Recôncavo baiano são classificados como maduros, necessitando de métodos avançados de recuperação de petróleo para retomar ao seu pico produtivo (SOUZA, 2002).

Desde 2005, o biodiesel faz parte da matriz energética brasileira (PINHO *et al.*, 2016). A sua produção acontece por meio da transesterificação e esterificação de óleos vegetais ou gorduras com álcool (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). Essa reação não tem rendimento de 100%, gerando como resíduo a glicerina bruta e soapstock (QUINTELLA *et al.*, 2009). Desses subprodutos, tem-se a glicerina bruta, que em sua fase pura possui diversos usos, desde cosméticos até alimentos, além de poder ser também comercializada como matéria-prima para outros processos industriais (MARQUES, 2015). Porém, como a glicerina obtida como resíduo do biodiesel é bruta, ela pode conter diversas impurezas que carecem de processos de tratamentos químicos e neutralizações, reduzindo, assim, as possibilidades de seu uso e o valor agregado (MATOS; RAMOS; MORON, 2016).

O *soapstock*, também chamado de borra de refino, é composto de gomas, triglicérides, sabão e hidróxido de sódio. Essa mistura é tratada como resíduo e não tem valor comercial, o que reduz o lucro da produção de biodiesel e aumenta o despejo de rejeitos no meio ambiente (MANEERAT, 2005). Apesar de não ter valor comercial, *soapstock* tem grande poder oxidativo e pode ser usado em tratamentos de solos contaminados por hidrocarbonetos (MATOS; RAMOS; MORON, 2016).

A glicerina bruta mostrou-se eficiente como fluido EOR, atingindo alto fator de recuperação por reduzir a tensão interfacial entre água, óleo e rocha reservatório, agregando valor ao biodiesel (RODRIGUES, 2013). As soluções de glicerina e *soapstock*, quando diluídas, têm baixas tensões interfaciais, sendo eficientes no aminguamento da saturação do óleo e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do deslocamento da injeção de água. Por ser um processo de custo inferior, os ensaios de injeção de *soapstock* e glicerina podem apresentar vantagens frente a outros processos de recuperação como os de injeção de micro emulsões ou outros surfactantes (BRPI0901604-0).

Quanto ao mercado de petróleo, o ano de 2020 começou com barril de petróleo custando cerca de US\$ 68,60, valor que estava em alta de +4%, provocado pela tensão entre EUA e Irã após o assassinato do general Qasem Soleimani (IBP, 2021). Após isso, o valor voltou a cair e ficou estável em cerca de US\$ 65,20, até que teve início a pandemia da Covid-19, na qual foram iniciadas as medidas de contenção da pandemia que começaram a impactar a economia da China e, conseqüentemente, de todo o mundo. Entre 23 de janeiro e fevereiro, notou-se queda nos preços superior a 15%, e, após a proliferação do vírus por todo o mundo, as quedas passaram a seguir uma regressão linear até que o ano de 2020 fechou com valores em torno de US\$ 48,52 (IBP, 2021).

A pandemia também conseguiu modificar os padrões de consumo, reduzindo cerca de 6% no uso de combustíveis derivados do petróleo. As vendas totalizaram 131,7 bilhões de litros em 2020, o menor patamar anual desde 2012 (FERRARI, 2021). Entretanto, o mercado brasileiro no início de 2021 deu alguns sinais de recuperação (ANP, 2021). O consumo do diesel conseguiu se manter estável, mas, a venda de gasolina e etanol hidratado, combustíveis geralmente associados ao uso individual em veículos leves, reduziu-se drasticamente (TNPETROLEO, 2021). Após a crise causada pela pandemia, espera-se que o mercado de petróleo se normalize em 3 ou 4 anos. Estima-se que o crescimento voltará a acontecer e que existiram grandes demandas de petróleo para uso industrial, o que impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias de extração e recuperação de campos petrolíferos maduros (MARINHO, 2021).

Há artigos sobre a otimização do EOR com *soapstock* saponificado *versus* soluções surfactantes comerciais utilizados na indústria de produção de petróleo em 2019 e outros demais trabalhos de prospecção feitos pelo grupo, entretanto, não houve nenhum com enfoque em mapeamento científico em *soapstock* e glicerina.

Recuperação avançada de petróleo, conhecida como EOR (Enhanced Oil Recovery) é geralmente subdividida em quatro grandes grupos: métodos térmicos, miscíveis, químicos ou microbiológicos (VELOSO *et al.*, 20014). O presente estudo busca tecnologias da área de química, usando injeção de glicerina e *soapstock*, subprodutos da produção de biodiesel, como fluido de recuperação, visando a alterar molhabilidade, viscosidade e, por fim, extrair a maior quantidade de óleo possível.

## 2 Metodologia

A construção de escopo baseou-se em buscas isoladas de palavras-chave correspondentes ao tema. *A posteriori*, foram combinados termos e obtidos números altos, porém, com baixa relevância ao tema. Então, foi selecionada uma patente com tema 100% coerente, a qual tinha como códigos de classificação internacional: E21B-043\16: Métodos de recuperação aprimorados para obtenção de hidrocarbonetos; obtenção de lama; recuperação de solo contaminado no local; e E21B-043\22: Uso de produtos químicos ou atividade bacteriana para a recuperação aprimorada de óleo; características químicas na extração de óleos de areias betuminosas ou xistos. Como há uma relação desses códigos com o interesse da pesquisa, eles foram inseridos no escopo e, por fim, foram escolhidas duas combinações para o mapeamento: Combinação do IPC E21B-043\22 com o termo “soapstock\*” e combinação do IPC E21B-043\22 com E21B-043\16 e com o termo “glicerina\*”.

Na primeira combinação, foram obtidas sete famílias de patentes altamente relacionadas com o uso de *soapstock*; já na segunda combinação, foram encontradas 24 famílias de patentes com relação direta ao uso de glicerina como fluido EOR. Os termos buscados poderiam estar no título, resumo, objetivo e descrição das patentes, além de serem generalizadas para outros idiomas e palavras com mesmo radical.

**Quadro 1** – Escopo de prospecção de patentes encontradas no Quest Orbit®

E21B-043\16	E21B-043\22	GLICERINA*	PETRÓLEO*	ÓLEO*	RECUPERAÇÃO*	SOAPSTOCK*	RESULTADOS
x							17.877
	x						7.891
		x					16.157
			X				26.095
				X			74.084
					x		6.437
						x	403
		x	AND		AND		411
			X		AND	AND	7
		x	AND			AND	11
	x	AND					223
	x					AND	7
x	AND	AND					24
X	AND					AND	1

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

Foram realizadas buscas nas plataformas Scielo e Elsevier com os termos *soapstock*, glicerina, petróleo e EOR combinadas de diferentes formas, a fim de selecionar artigos sobre o tema

da pesquisa. As buscas de palavras foram combinações de radicais de palavras similares e de códigos, a fim de encontrar de forma abrangente todos os artigos relacionados.

**Quadro 2** – Palavras-chave utilizadas na plataforma Elsevier

PALAVRA	BUSCA	QUANTIDADE
Glicerina	Glycer*; glicer*; 1,2,3-TRIHIDROXIPROPANO; 1,2,3-PROPANOTRIOL	247.874
Soapstock	Soapstock*; soap-stock*; borra de sabão; pasta* de neutralização; soap stock*; soap sludge*; neutralization paste*; neutralisation paste*; neutralization paste*	429
Recuperação avançada de petróleo	Enhanced oil recov*; eor*; recuperaç* avançad* d* óleo; recuperaç* avançad* d* petróleo*; recuperaç* terciár* d* óleo*; recuperaç* terciár* d* petróleo*; recuperaç* aprimorada d* óleo*; recuperaç* aprimorada d* petróleo*; recuperaç* melhorada d* petróleo*; recuperaç* otimizada d* petróleo*; reforço* da recuperaç* d* petróleo*; recuperaç* otimizada d* petróleo*; tertiar* oil recov*	34.519
Oil	Oil*; crude oil*; petroleum*; fossil fuel*; raw fuel	134.9907

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

A estratégia escolhida para a busca no Scielo foi a combinação das palavras glicerina ou *soapstock* e recuperação avançada de petróleo, que obteve 107 artigos, entre elas, 104 referentes ao uso de glicerina e três referentes a *soapstock*. A frase de busca reuniu os três termos, a fim de recolher todos os artigos que continham os termos no resumo, título e palavras-chave.

### 3 Resultados e Discussão

A recuperação com uso de *soapstock* e/ou glicerina começou a ser pauta em 1984, quando foi publicada a primeira patente sobre soluções de polímeros de alto peso molecular com maior resistência ao fluxo e ao processo para sua preparação, usando propilenoglicol e outros polímeros semelhantes (DE3037630). A técnica consiste em preparar uma solução diluída para impedir o avanço da água da inundação, forçando o deslocamento de soluções com os polímeros citados nas camadas de rocha, provocando aumento significativo de remoção de óleo das rochas, até mesmo o óleo dos poros mais finos (INTERHAL; DURST; HAAS, 1986).

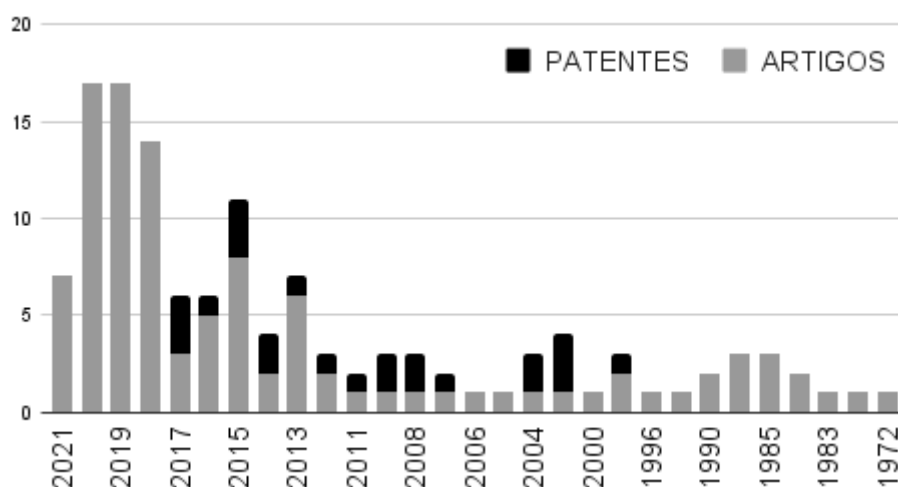
Nos últimos 20 anos, o crescimento de patentes nesse ramo tem sido gradativo, sobretudo nos anos de 2014 a 2017, em que se obteve um acúmulo mais expressivo no número de patentes publicadas, resultando em 27 patentes depositadas em 20 anos. Uma das patentes divulgadas em 2014, com código (US20150315459A1), se trata de métodos para o tratamento de sólidos de propante, material durável e resistente a esmagamento produzido para uso na indústria petrolífera, com um agente de tratamento líquido que pode suprimir ou reduzir a formação e liberação de poeira (MCDANIEL *et al.*, 2013).

A patente mais recente se trata de composições de furo de poços de óleo natural e métodos usados. Em algumas modalidades descritas na patente, há composições de surfactante olefínicos polimerizáveis, que, sob certas condições, podem formar polímeros surfactantes. Os surfactantes

viscoelásticos aquosos oferecem uma solução potencial parcial, porém, tais compostos ainda podem se decompor quando expostos a fluidos de hidrocarbonetos (WO 2017010983). Portanto, há uma contínua busca por tecnologias mais viáveis financeiramente e em macroescala produtiva, como sugerem os subprodutos do biodiesel.

Na Figura 1, observa-se acúmulo expressivo entre os anos de 2015 e 2021, sendo possível somar 71 artigos em menos de seis anos. O artigo mais recentemente publicado é sobre um fluxo de trabalho de laboratório para o desenvolvimento de formulações de agentes tensoativos/polímeros para EOR em carbonatos duros (SERIGHT *et al.*, 2020), sendo esses agentes tensoativos provenientes de subprodutos do biodiesel.

**Figura 1** – Evolução anual no número de artigos e patentes



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Na Figura 2, é possível observar as áreas com maior concentração de artigos. Há uma patente que trata da formulação de meios de cultura alternativos para produção de bioativos, que traz a formulação de um meio de cultura para produzir goma xantana, biopolímeros ou exopolissacarídeos eps e ramnolípídeos, utilizando em sua formulação efluente da indústria de petróleo glicerina bruta resíduo da indústria de biodiesel e outros nutrientes para produção de fluidos de injeção para recuperação avançada de petróleo (BR102013023075). A referida patente se classifica como pertencente à área tecnológica da engenharia civil, por causa dos protocolos de planejamento de exploração de campos petrolíferos.

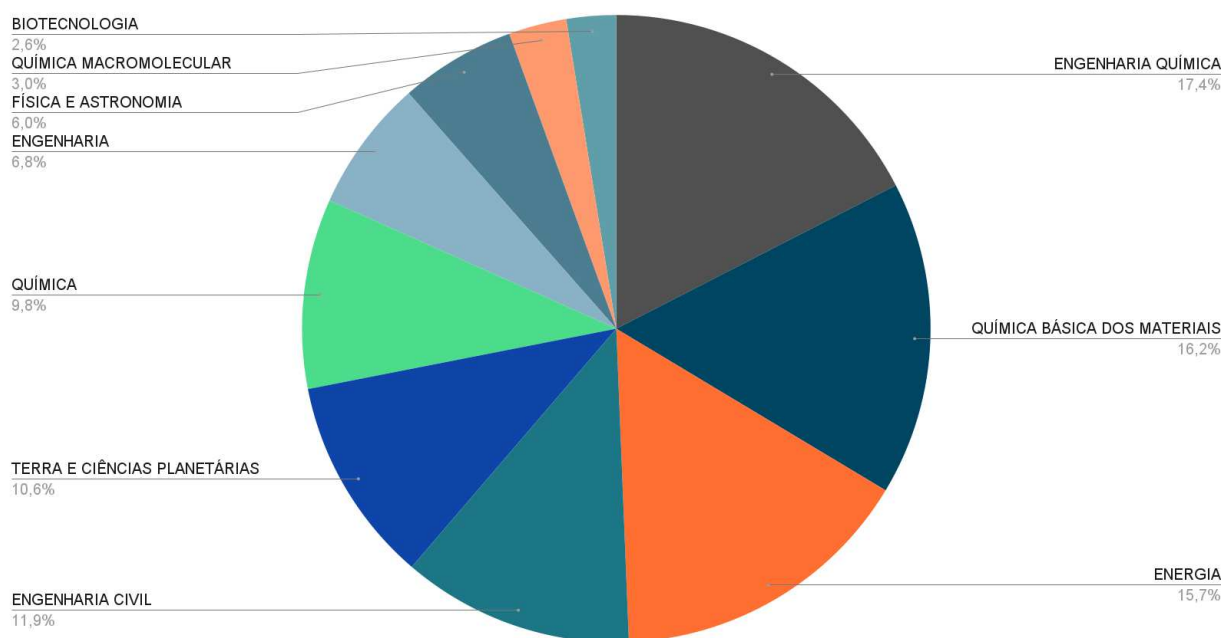
Por se tratar de uma busca relacionada ao petróleo, a química básica dos materiais é bastante abrangente, sendo responsável por 16% das patentes e dos artigos, a exemplo do artigo intitulado por método de recuperação avançada de petróleo utilizando injeção de glicerina bruta e polímeros, que trata a atuação de soluções de glicerina bruta e polímeros no fator de recuperação de óleo (VELOSO *et al.*, 2014). Apesar de ser uma área com grande quantidade de documentos, uma busca com tais palavras-chave não foi satisfatória, já que tal busca resultaria em diversos temas não relacionados com EOR.

O artigo “Copolímero à base de poliglicerol-acrilato de Lactato como potenciais águas surfactantes de Recuperação Avançada de Petróleo” é um dos pertencentes ao ramo da química dos polímeros, uma vez que a tecnologia seja a aplicação de polímeros viscosos ou tensoativos

em soluções aquosas em reservatórios de petróleo para aumentar a recuperação do óleo remanescente amplamente aplicada. O trabalho destina-se à síntese de um poliglicerol derivado do biodiesel (AMAYA-GÓMEZ *et al.*, 2022).

Nos artigos encontrados, a área mais explorada é a engenharia química, ramo que ocupa o quarto lugar no *ranking* de patentes. O artigo produzido na School of Petroleum and Natural Gas Engineering, em 2019, pretendeu fazer investigações a nível de poro sobre os mecanismos de deslocamento de óleo de um tensoativo viscoelástico em meios porosos. A área tem como segmento tecnológico predominante a engenharia química, com foco na dinâmica de deslocamento e na relação com as propriedades da solução a granel de VES. Assim, medições diretas da tensão interfacial (IFT), ângulo de contato e permeabilidade relativa, foram realizadas pela primeira vez. Os resultados mostraram que as VES testadas poderiam reduzir a IFT óleo-água para um nível 10-2mN/m e inverter uma superfície inicialmente óleo-molhado para o estado molhado em água (GONG *et al.* 2019).

**Figura 2** – Área de concentração de patentes publicadas



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Na Figura 3, pode-se notar que a predominância de documentos produzidos no Brasil e nos Estados Unidos é resultado das grandes produções de biodiesel e petróleo nesses países, fator decisivo na aplicabilidade dessa tecnologia. Países asiáticos encontram-se no *ranking* por causa da grande produção de petróleo e da economia centrada nesse *commodities*, além do grande desenvolvimento tecnológico centrado em países como China e Japão.

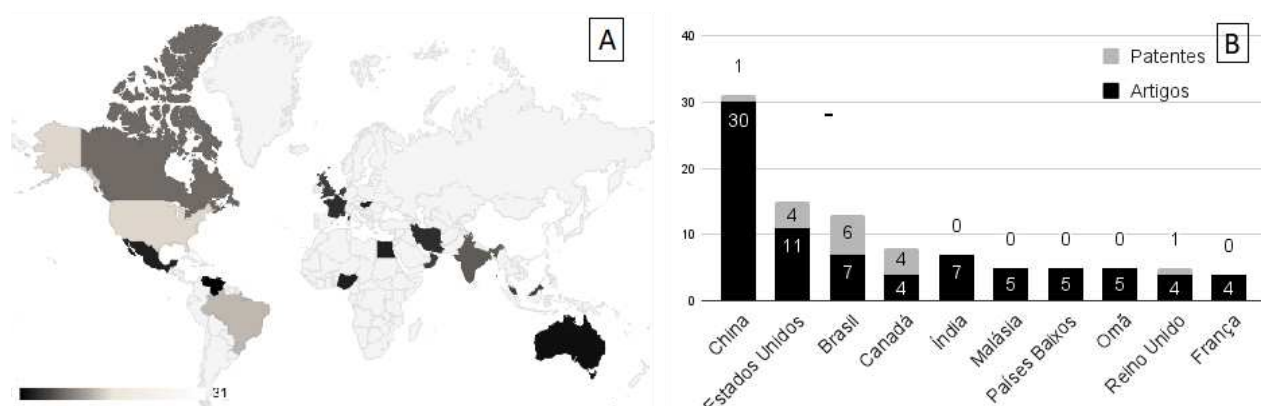
Desde a década de 1920, o Brasil realiza pesquisas sobre o uso de óleo vegetal como combustível, porém, somente na segunda metade da década de 2000, com a reorganização da estrutura energética do Brasil, houve maior interesse pela produção do biodiesel, existindo grandes fomentos da iniciativa privada (RAMOS; ARIÑO; SYCHROVÁ, 2011). O mercado desse biocombustível no Brasil passou de quase inexistente a um dos maiores biocombustíveis do mundo (EIA, 2015).

Seguindo a trajetória de crescimento produtivo do biodiesel, há uma patente brasileira que envolve o uso de goma xantana e ramnolípídeo para recuperação avançada de óleo. O método utiliza a produção de resíduos da indústria do petróleo e de resíduos da indústria do biodiesel, glicerina bruta, como meio de produção, envolvendo *Xanthomonas campestris* e *Pseudomonas* sp. Essa invenção se refere à aplicação de dois compostos biologicamente ativos na recuperação de óleo de alto grau sem a necessidade de precipitar, separar, esterilizar, lavar, secar e moer os compostos biologicamente ativos, ou injetar o produto de fermentação para outros objetivos, assim, os campos de petróleo maduros podem recuperar o petróleo remanescente no reservatório (BRPI1100538).

A patente brasileira que estabelece o maior vínculo entre o biodiesel e a produção de óleo é uma patente que trata de processos avançados de recuperação de óleo por meio do uso de subprodutos do biodiesel. A presente invenção se refere a um processo de recuperação avançada de óleo que usa uma solução de glicerina, soapstock ou uma mistura desses produtos obtidos a partir de um processo de fabricação de biodiesel para reduzir a tensão interfacial entre óleo e água injetada, melhorando, assim, o seu desempenho. O processo proposto utiliza uma concentração econômica de glicerina bruta (GB), glicerina líquida (GL), solução de soapstock (SS) ou uma solução diluída de sua mistura, que é adicionada à água injetada, resultando em um aumento de cerca de 5 a 15% no fator de recuperação de óleo (BRPI0901604).

Uma das patentes dos Estados Unidos presente neste estudo fala sobre tratamentos para propantes revestidos ou não revestidos que podem, entre outras coisas, controlar a poeira fugitiva durante os procedimentos de manuseio típicos com equipamento de transporte e adicionar características funcionais ao sólido de propante, uma vez que a poeira gerada pelo manuseio de propante tem sido uma preocupação por vários anos. A poeira pode ser um incômodo, um perigo para a saúde e pode interromper a produção de produtos de petróleo e gás produzidos durante o processo de fraturamento (US20200115627).

**Figuras 3** – A: Mapa de países produtores de artigos/patentes; B: Ranking dos dez países com maior número de patentes e artigos



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Na Figura 4 estão relacionados os dez maiores detentores em números de artigos e patentes. Entre os dez maiores proprietários de patentes, dois deles são instituições de educação brasileiras, a exemplo da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPTSP). As demais são empresas, sendo elas privadas, como a Henkel, com sede



no Estados Unidos, detentora de patentes de vários ramos e da Petrobrás, estatal brasileira, grande produtora e exportadora de petróleo. Sobre os artigos, observou-se que universidades do Brasil foram responsáveis por cerca de 10% dos artigos, fato justificado pelo crescimento da produção de biodiesel no país.

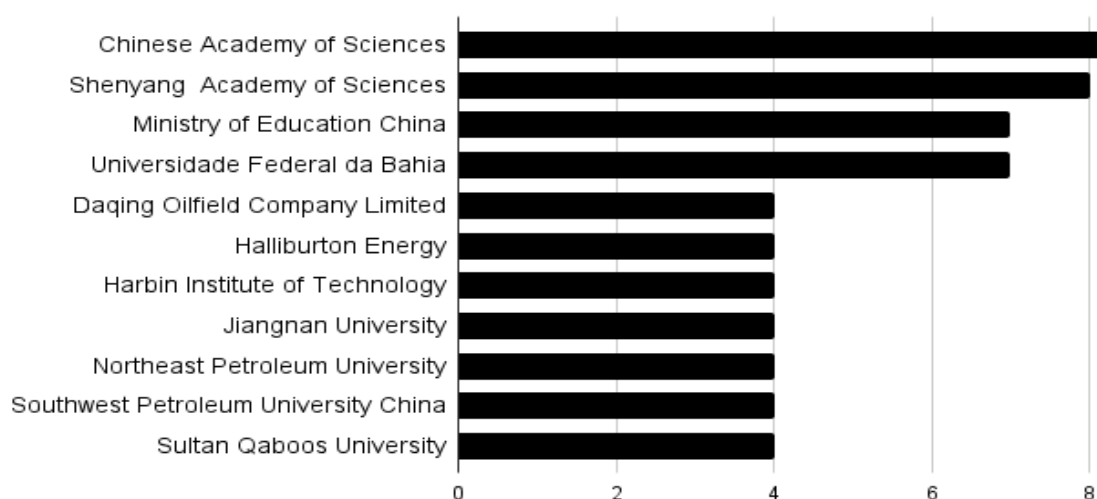
O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo produziu a patente do equipamento para ensaios de fraturamento hidráulico (BR201100417). O equipamento para ensaios de fraturamento hidráulico refere-se a um equipamento composto de três dispositivos principais, denominados: sistema hidropneumático, de obturação e sistema eletrônico, visando à determinação de tensões *in situ* de maciços rochosos em grandes profundidades por meio do método de fraturamento hidráulico. Essa tecnologia pode facilitar a exploração de campos maduros, sobretudo métodos químicos de injeção de fluidos.

A Universidade Federal da Bahia tem respaldo tecnológico na categoria, sendo responsável por três patentes e quatro artigos. O trabalho mais recente lançado pela UFBA é o artigo que busca dar um destino econômico para a água e os demais resíduos gerados pela indústria do petróleo e gás por meio de produção de bioativos, como goma de xantana e ramnolipid para recuperação avançada de petróleo (RAMOS; DE ALMEIDA; CHINALIA, 2020).

Outro artigo da UFBA trata de microemulsões que visam a diminuir as tensões interfaciais entre a água e o óleo e facilitar o seu fluxo no meio poroso. O objetivo é avaliar se a microemulsão, composta de glicerina na fase polar, é tão eficiente quanto a microemulsão contendo água. Os testes de recuperação têm mostrado que microemulsões contendo glicerina na fase polar têm alcançado um fator de recuperação até 49% do óleo residual enquanto microemulsões contendo água recuperada têm alcançado cerca de 36% do óleo residual (FERREIRA *et al.*, 2018).

A empresa Henkel, proprietária de duas patentes, tem bastante interesse nesse ramo tecnológico por ser uma empresa que produz cosméticos mundialmente. Uma de suas patentes fala sobre o uso de dispersões de acetato de polivinila para solidificar a superfície da areia e/ou da Terra, a fim de recuperar mais óleo. A descrição refere-se ao uso de triésteres de glicerina com ácidos monocarboxílicos (EP0710268). Essa tecnologia garante benefícios comerciais por criar destinos para a glicerina.

A Chinese Academy of Sciences lidera o *ranking*, sendo responsável por nove documentos, entre patentes e artigos. Essa instituição é a base para a China explorar e usar as ciências naturais de alta tecnologia para o benefício do planeta, ela reúne cientistas e engenheiros da China e de todo o mundo para usar métodos científicos para resolver problemas teóricos e aplicados em todo o mundo. Entre as partes, encontra-se a China Petroleum Institute, órgão responsável por desenvolver e explorar essas tecnologias. Há um artigo altamente correlacionado à busca, que trabalha a produção de ramnolipídios com diferentes proporções de monoramnolipídios, usando glicerol bruto para aplicação na recuperação de óleo (ZHAO; SELVAM, 2011).

**Figura 5** – Instituições com maiores números de patentes e artigos

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

## 4 Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos por meio deste mapeamento científico e tecnológico, é possível concluir que a tecnologia aqui pesquisada está cada vez mais ganhando espaço dentro da área de recuperação avançada de petróleo por métodos químicos. Isso pode ser confirmado, sobretudo, pela expressiva produção literária nos últimos seis anos, significando uma forte repercussão não apenas nas descobertas patenteáveis, mas nos resultados laboratoriais já obtidos.

Entre os países que produziram documentos relacionados ao tema, vale destacar a China e o Brasil. A primeira por ser o país de origem do maior número de artigos, fato bastante plausível, uma vez que a China é um dos maiores consumidores de petróleo do mundo. Já o Brasil, é a nação com o maior número de patentes do mundo, demonstrando que o país busca ainda mais desenvolver novas ferramentas que possam aumentar a extração do óleo, principalmente dos reservatórios encontrados no pré-sal, já que a economia do país tem forte dependência com a produção de petróleo e pode vir a ter grandes saltos econômicos a partir do investimento em pesquisa e extensão. Apesar de não ser o maior produtor de artigos ou patentes, Estados Unidos é o segundo país possuidor de mais documentos no geral, concluindo que até empresas privadas, universidades e grupos de pesquisas de grandes potências econômicas veem potencial na aplicação desse método de recuperação.

Por fim, ao analisar as tendências tecnológicas dos documentos depositados com os códigos supracitados, notou-se uma predominância tecnológica da engenharia química, civil e química básica, sendo possível traçar o perfil dos profissionais especializados nessas áreas. Ademais, outras de menor abrangência que estavam relacionadas com propriedades dos materiais e substâncias químicas também foram mencionadas.

## 5 Perspectivas Futuras

A tecnologia representa uma ampla quantidade de patentes e artigos, além de mostrar um desenvolvimento atual pelo acréscimo na quantidade de documentos nos últimos anos, porém, a pandemia da Covid-19 trouxe alguns impactos para o consumo mundial de petróleo e estima-se que tal redução irá prevalecer por aproximadamente quatro anos, até que o consumo mundial de petróleo volte aos níveis pré-pandêmicos.

Antes do surto global de Covid-19, a linha de base era de 100 milhões de barris de petróleo por dia. O forte recuo do mercado financeiro aumentará o tempo para que a produção volte aos níveis normais.

Após o período de recuperação, devido ao aumento esperado do consumo e à diminuição da oferta dentro de alguns anos, à medida que as empresas e o país buscam a energia de menor custo, os preços e a demanda do petróleo devem subir entre 2024 e 2030, chegando a 105 milhões de barris por dia. Sendo assim, espera-se difusão do tema, a fim de proporcionar o fornecimento de petróleo a longo prazo.

Como o uso de *soapstock* e glicerina tem encontrado bons números na evolução do fator de recuperação dos poços, espera-se também que a tecnologia seja expandida, principalmente pelo aumento do consumo e da produção de biodiesel no Brasil.

## Referências

AMAYA-GÓMEZ, Rafael *et al.* Matching of corroded defects in onshore pipelines based on In-Line Inspections and Voronoi partitions. **Reliability Engineering & System Safety**, [s.l.], v. 223, p. 108520, jul. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2022.108520>.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Consumo de combustíveis dá sinais de recuperação no 1º semestre**. G1. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/28/anp-consumo-de-combustiveis-da-sinais-de-recuperacao-no-1o-semester.gh.html>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BETAEQ. **Empresa de comunicação e ensino sobre Engenharia Química e Desenvolvimento Profissional**. 2017. Disponível em: <https://betaeq.com.br/?s=petroleo>. Acesso em: 2 jun. 2021.

BORGES, Sarah Maria Santana, **Recuperação Avançada de Petróleo (EOR) com a Utilização da Glicerina Bruta (GB) co-produto da produção de Biodiesel Salvador**. 2009. 93p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

CARVALHO, J. F. de. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/88917>. Acesso em: 16 ago. 2021.

EIA – ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Use of Biodiesel**. 2015. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34152>. Acesso em: 2 jun. 2021.

FERRARI, Hamilton. Taxa de desemprego acelera para 147, maior percentual desde 2012. **Poder360**, [on-line], 27 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/economia/taxa-de-desemprego-acelera-para-147-maior-percentual-desde-2012/>. Acesso em: 16 ago. 2021.

FERREIRA, G. F. D. et al. Novel glycerin-based microemulsion formulation for enhanced oil recovery. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, [s.l.], v. 167, p. 674-681, 2018.

FORBES. Trefis Team. **Mercado em queda coronavírus e outros crises históricos**. Março de 2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/negocios/2020/03/mercados-em-queda-coronavirus-x-outros-crashes-historicos>. Acesso em: 16 ago. 2021.

GASPARETTO, A. Crise do Petróleo. **InfoEscola**, on-line, 2015. Disponível em: <https://www.infoescola.com/economia/crise-do-petroleo/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

GONG, Liang et al. Phase Prediction of Supercritical Carbon Dioxide and its Application in Fracturing Oil Wellbores. **Journal of Thermal Science**, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 484-493, 14 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11630-019-1092-x>.

IBP – INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. Impactos da COVID-19 sobre o mercado de óleo e gás. **Instituto brasileiro de petróleo e gás**, 2021. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/?s=qasem+sole>. Acesso em: 21 nov. 2021.

INTERHAL, Werner; DURST, Franz-Josef; HAAS, Raimund. **High polymer solutions having an increased drag and process for their manufacture**. Titular: Hoechst Ag. US n. US4593762A. Depósito: 4 nov. 1983. Concessão: 11 jun. 1986.

MANEERAT, S. Biosurfactants from marine microorganisms. **Songklanakarin, J. Sci. Technol.**, [s.l.], v. 27, n. 6, p. 1.265, Nov.-Dec., 2005.

MARINHO, André. Opep eleva previsão para crescimento do PIB do Brasil em 2021, de 3% para 3,2%. **Uol**, [on-line], 15 de julho de 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2021/07/15/opep-eleva-previsao-para-crescimento-do-pib-do-brasil-em-2021-de-3-para-32--.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 16 ago. 2021.

MARQUES, Landson Soares et al. Mapeamento tecnológico da utilização da glicerina coproduto da produção do biodiesel na remediação de áreas impactadas por atividades petrolíferas. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 301-310, 2015.

MATOS, P. R.; RAMOS, A. T.; MORON, S. E. Glicerina bruta em dietas de juvenis de tambaqui. **Zootecnia e Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal, Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** [s.l.], v. 68, n. 6, Nov.-Dec., 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8473>. Acesso em: 16 ago. 2021.

MCDANIEL, Robert et al. **Flash Coating Treatments For Proppant Solids**. Titular: Preferred Tech Llc. US n. US20150315459A1. Depósito: 14 jun. 2015. Concessão: 5 nov. 2015.

OILPRICE. **Oil Price**. 2020. Disponível em: <https://oilprice.com/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

PINHO, L. D. A; TEIXEIRA, F. L. C. Biodiesel no Brasil: uma análise da regulação e seus reflexos na diversificação das matérias-primas usadas no processo de produção. Revista **Brasileira de Administração Política**, [s.l.], p. 22, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/rebap/article/view/17212>.

PRESSER, Demian J.; CAFARO, Vanina G.; CAFARO, Diego C.. Optimal Production Strategies for the Development of Mature Oil Fields through Polymer Flooding. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s.l.], v. 60, n. 28, p. 10.235-10.253, 9 jul. 2021. (American Chemical Society (ACS)). DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.1c00803>.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.

RAMOS, Bethania Felix Miranda; DE ALMEIDA, Paulo Fernando; CHINALIA, Fabio Alexandre. Bacterial xanthan and rhamnolipid simultaneous production using industrial oil produced water. **Environmental Technology**, [s.l.], v. 00, p. 1-8, 2020.

RAMOS, José; ARIÑO, Joaquín; SYCHROVÁ, Hana. Alkali-metal-cation influx and efflux systems in nonconventional yeast species. **Fems Microbiology Letters**, [s.l.], v. 317, n. 1, p. 1-8, 1 fev. 2011. Oxford University Press (OUP). DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02214.x>.

RODRIGUES, Pamela Dias. **Recuperação avançada de petróleo (EOR) por métodos químicos e dependência do tipo de glicerina bruta**. 2013. 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

SAMPAIO, I. C. F. **Produção de goma xantana em reator aerado utilizando resíduos da indústria de energia**. 2021. 82p. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

SCHIAVI, M. T.; HOFFMANN, W. A. M. Cenário petrolífero: sua evolução, principais produtores e tecnologias. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, SP, v. 13, n. 2, p. 259-278, 2015. DOI: 10.20396/rdbci.v13i2.2104. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/2104>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SERIGHT, Randall S. *et al.* Stability and Behavior in Carbonate Cores for New Enhanced-Oil-Recovery Polymers at Elevated Temperatures in Hard Saline Brines. **Spe Reservoir Evaluation & Engineering**, [s.l.], v. 24, n. 01, p. 1-18, 11 jun. 2020. Society of Petroleum Engineers (SPE). DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/200324-pa>.

SILVA, Pedro Henrique Benevides. **Technical and economic feasibility study the optimized parallel water application in viscoelastic polymer in the enhanced oil recovery**. 2017. 98f. Thesis (MA Biofuels Engineering and Petrochemicals) – Chemical School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SOARES, L. L. O. **Determinação do início de deposição de parafina em dutos de produção e transporte de petróleo utilizando sensor multipontos de temperatura (SMpT)**. 2017. 112p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

SOUZA, L. P. **Estudo sobre tomada de decisão em projetos de rejuvenescimento de campos petrolíferos maduros**. 2002. 75p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

SUAREZ, P. A. Z. *et al.* Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, [s.l.], v. 30, p. 667-676, 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, [s.l.], v. 30, p. 2.068-2.071, 2007.

TNPETROLEO. Demanda por combustíveis na Índia despenca em maio com impactos da Covid-19. **TN Petróleo**, 2021. Disponível em: <https://tnpetroleo.com.br/noticia/demanda-por-combustiveis-na-india-despenca-em-maio-com-impactos-da-covid-19/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

VELOSO, Y. M. da S. *et al.* Método de recuperação avançada de petróleo utilizando injeção de glicerina bruta e polímeros. **Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 2, n. 2, p. 37-48, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/1744>. Acesso em: 28 jun. 2021.

VICHI, Flávio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

ZHAO, Z.; SELVAM, A. Synergistic effect of thermophilic temperature and biosurfactant produced by *Acinetobacter calcoaceticus* BU03 on the biodegradation of phenanthrene in bioslurry system. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 190, p. 345-350, 2011.

## Sobre os Autores

### **Maria Gabriela Sena Amorim**

*E-mail:* gabhissn@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5986-1142>

Graduado em Engenharia Química em andamento.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Campus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.

### **Pedro Clever Carneiro de Almeida Oliveira**

*E-mail:* pedroclever@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5467-1593>

Graduado em Engenharia Química em andamento.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Campus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.

### **Humbervania Reis Gonçalves da Silva**

*E-mail:* humbervania@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5088-3153>

Doutora em Química pela Universidade Federal da Bahia em 2017.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Campus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.

### **Cristina M. Quintella**

*E-mail:* cris5000tina@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3827-7625>

Doutora em Ciências Moleculares pela University of Sussex (UK) em 1993. <http://lattes.cnpq.br/7897779819494573>.

Endereço profissional: Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Departamento de Química Geral e Inorgânica, Campus de Ondina, Ondina, Salvador, BA. CEP: 40170-290.