

PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO: REVISÃO TEÓRICA E PROJEÇÃO BRASILEIRA

OIL WELL DRILLING: THEORETICAL REVIEW AND BRAZILIAN PROJECTION

¹*Eduardo Marques Vieira.

²Eduardo Silva Farias.

³Lucas Gavazza de Oliveira.

⁴Lucas Oliveira Loureiro de Moraes.

¹Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória. E-mail: eduardomarquescontato@outlook.com.

²Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória. E-mail: eduardoslvfarias@gmail.com.

³Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória. E-mail: lucasgavazza19@gmail.com.

⁴Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória. E-mail: lucasmoraes.olm@gmail.com.

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 11/03/2022, aceito em 25/05/2023 e publicado em 02/06/2023.

Resumo: A obtenção do petróleo é um desafio desde 1859, quando foi perfurado o primeiro poço de exploração do petróleo. A busca pela melhoria da tecnologia de perfuração é de suma importância para o ramo petrolífero, de modo que seja possível atingir reservatórios cada vez mais fundos. Um ponto importante nessa busca é que são publicados um número expressivo de estudos todos os anos. Por essa razão, o presente artigo tem por objetivo realizar uma revisão das tecnologias utilizadas atualmente, fazer uma projeção da situação da perfuração de poços petrolíferos no território brasileiro e a questão ambiental. Como resultado, o parecer mercadológico se mostrou favorável para o crescimento brasileiro, o âmbito ambiental mostrou-se em alta e, além disso, as tecnologias de aprendizado de máquina estão sendo cada vez mais implementadas no sistema de perfuração de poços de petróleo.

Palavras-chave: Petróleo; perfuração; projeção; revisão.

Abstract: The obtaining of the oil has been a challenge since 1859, when the first oil well was drilled. The search for the improvement of drilling technology is very important for the oil industry, because this improvement makes it possible to reach deeper reservoirs. An important point in this research is that an expressive number of studies are published every year. For this reason, this paper aims to review the technologies currently used nowadays to make a projection of the situation of the drilling of oil wells in the Brazilian territory and the environmental issue. As a result, the market opinion proved to be favorable for Brazilian growth, the environmental scope was on the rise and, in addition, machine learning technologies are being increasingly implemented in the oil well drilling system.

Keywords: Oil; drilling; projection; review.

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é conhecido pela humanidade há milhares de anos. Contudo a pesquisa sistemática do petróleo, para utilização em bases comerciais e industriais, iniciou-se com a perfuração do primeiro poço de petróleo em 1859, pelo coronel Edwin L. Drake, no estado da Pensilvânia, Estados Unidos. Esse poço produziu petróleo de boa qualidade e fácil destilação. O poço se tornou o símbolo e a base para o explosivo crescimento da indústria mundial do petróleo (LUCCHESI, 1998).

Ainda de acordo com Lucchesi (1998), a procura do petróleo no Brasil teve início em 1858 para a pesquisa e lavra de carvão e folhelhos betuminosos na região de Ilhéus, Bahia e, em 1864, para pesquisa e lavra de turfa e petróleo na mesma região.

Sabendo que o processo de perfuração é um segmento fundamental para a operação da exploração do poço, durante séculos o homem vem desenvolvendo novas formas para aprimorar os métodos de perfuração. Uma evidência dos progressos ocorridos é a introdução dos métodos rotacionais de perfuração, que proporcionam maior eficiência e rapidez no processo de perfuração (SEIXAS, 2010).

A perfuração do poço é realizada através de uma sonda de perfuração (MORAIS, 2013) e durante este processo, utiliza-se ferramentas especiais, juntamente com um fluido, denominado fluido de perfuração ou ainda lama de perfuração (SCHAFFEL, 2002). De maneira geral, são sistemas multifásicos que podem conter água, material orgânico,

sais dissolvidos e sólidos em suspensão nas mais diversas proporções. A composição da lama depende das exigências particulares de cada situação (CAENN; HENRY; GRAY, 2011). Ademais, o processo de perfuração é dividido em sistema *onshore* (perfuração na terra) e sistema *offshore* (perfuração no mar) (SCHAFFEL, 2002).

Segundo Souza (2018), a indústria petrolífera tem desenvolvido técnicas cada vez mais eficientes para a perfuração de poços. O Brasil por exemplo, que segundo dados de 2021 do portal online da União Nacional da Bioenergia, ocupa o sétimo lugar no *ranking* mundial de produção e exportação de petróleo. Sendo que 73% de sua produção é oriunda do pré-sal e notória a necessidade de se extrair petróleo de reservatórios localizados em águas profundas e ultra profundas como um desafio a ser vencido progressivamente.

O presente trabalho faz uma abordagem a respeito da perfuração de um poço de petróleo, que atravessa regiões rochosas, as quais podem conter em seu interior fluidos sob pressões normais, como a água doce ou salgada, até atingir as áreas onde o petróleo estará armazenado na presença de gás e óleo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um projeto de perfuração de poços de petróleo deve cumprir diversas etapas para que seja atingida a zona de interesse de maneira adequada e segura (KUEHN, 2014), as quais estão listadas a seguir:

- A. Determinar a trajetória e a profundidade do poço a ser perfurado

com base nas informações geológicas do campo;

- B. Determinar as pressões existentes no subsolo, tais como: pressão de poros, pressão de colapso, pressão de sobrecarga e pressão de fratura;
- C. Obter a janela de operação, sendo o intervalo entre a pressão de poros e a pressão de fratura, ou seja, o intervalo permitido para a variação da pressão exercida pelo fluido de perfuração;
- D. Definir as profundidades das sapatas dos revestimentos e o tipo de fluido a ser usado em cada fase;
- E. Selecionar as brocas com base nas propriedades das formações geológicas que é desejada perfurar. O objetivo do programa de brocas é perfurar a formação com maior taxa de penetração da broca possível, dada pela relação da extensão da seção perfurada e o tempo.
- F. Selecionar os equipamentos que irão compor a parte inferior da coluna de perfuração, conhecida como *bottom hole assembly* (BHA), que irão conectar e descer pela coluna de *drill pipes*.

Durante todo o processo de perfuração, um sistema possui itens que atuam em um circuito contínuo na intenção de garantir a integridade das formações geológicas atravessadas, da segurança do pessoal de perfuração e do meio ambiente. Dentre os equipamentos do sistema destacam-se tanques de armazenamento de fluidos de alta capacidade, bombas de lama de alta vazão, coluna de perfuração e broca, sistemas de limpeza de fluidos, dentre outros (SANTOS, 2012). Isso é justificado pois o fluido de perfuração resfria e limpa a broca; reduz o atrito entre a haste de perfuração e as paredes do poço; mantém a estabilidade do poço; transporta

detritos de perfuração, dentre outros (CAMPOS, 2007).

A técnica de perfuração direcional tem proporcionado um aumento significativo na produtividade dos poços de petróleo em comparação com as técnicas tradicionais de perfuração vertical. Além disso, essa técnica tem maximizado a recuperação de reservatórios já existentes e permitido uma exploração mais ampla de campos petrolíferos em áreas de difícil acesso, como zonas urbanas e de proteção ambiental, além de possibilitar a perfuração em lâminas d'água cada vez mais profundas. Com o uso da perfuração direcional, é possível criar poços horizontais, multilaterais e com trajetórias complexas a grandes distâncias em águas profundas. (ZAMPROGNO, 2011).

O uso da perfuração direcional é comum quando os poços objetivos não estão localizados abaixo do local da sonda, como é o caso da perfuração vertical. O poço a ser atingido tem uma distância denominada afastamento em relação a linha vertical da sonda, gerada pelo ganho de ângulo.

Há um ganho de eficiência do processo de descoberta e o de exploração de poços com a perfuração direcional, mas isso está atrelado a um investimento em um planejamento mais rigoroso e em equipamentos específicos não utilizados na perfuração vertical, o que faz aumentar o custo total. O custo é um parâmetro que pode ser utilizado na análise do tipo de perfuração a ser escolhido, visto que a perfuração direcional pode fazer o que a vertical faz, porém com um custo maior.

Vale destacar que a perfuração direcional possibilitou o aumento de aproveitamento das reservas, seja pela possibilidade de recuperação de hidrocarbonetos (que somente com poços verticais não poderiam ser recuperados), seja pela maior possibilidade de operação em lugares com necessidade de aplicação de ângulo, com maiores profundidades,

formações mais duras e abrasivas e necessidade de maior controle (BRITTO, 2010).

Na perfuração direcional, a habilidade de compor adequadamente a coluna de perfuração é extremamente crucial, já que ela determinará se o poço irá aumentar, diminuir ou manter seu ângulo de inclinação. É, portanto, uma das etapas mais importantes do processo de perfuração direcional (ZAMPROGNO, 2011).

Os tubos de perfuração, conhecidos como *Drill Pipes*, são elementos cruciais para a perfuração de poços de petróleo. Eles são responsáveis por transmitir a rotação e o peso da broca para quebrar a rocha e conduzir o fluido de perfuração. Além disso, representam a maior parte do comprimento total da coluna de perfuração. Os tubos de perfuração são fabricados em aço sem costura e recebem um tratamento interno com resina para reduzir a corrosão e o desgaste. Suas extremidades são soldadas com conexões cônicas, chamadas de *tool joints*. Já os *Heavy Weight Drill Pipes*, ou tubos pesados de perfuração, são produzidos em aço forjado com o mesmo diâmetro externo dos tubos de perfuração, mas com espessura maior, o que lhes confere um peso maior em relação ao tubo anterior (GANDELMAN, 2012). Esses tubos possuem uniões com revestimento de metal duro e reforço central no corpo do tubo, atuando como elementos de rigidez intermediária entre o comando e o tubo de perfuração. Essa transição gradual de rigidez evita pontos de concentração de tensão que podem causar falhas na perfuração. Além disso, os *Heavy Weight Drill Pipes* contribuem para o peso da coluna de perfuração, fornecendo forças compressivas para a broca no momento da perfuração da rocha (ZAMPROGNO, 2011).

Os comandos de perfuração, *drill collars*, são tubos de perfuração pesados com alta rigidez utilizados para exercer

peso sobre a broca e, portanto, também possuem paredes mais espessas que os tubos de perfuração. Sua principal função é promover uma variação de espaçamento entre estabilizadores para possibilitar um número maior de combinações de coluna de perfuração estabilizadas (SOUZA, 2011).

Já os estabilizadores consistem de elementos tubulares de coluna de perfuração com lâminas em sua parede externa (ZAMPROGNO, 2011). Têm como funções a redução da flambagem e prevenção da prisão da coluna de perfuração, estabilização da coluna de fundo, controle do desvio do poço e da centralização dos comandos em relação ao poço, reduzindo a vibração lateral e o desgaste destes comandos (MATHIAS, 2016).

Existem dois tipos principais de brocas: com partes móveis e sem partes móveis. As brocas sem partes móveis têm menor probabilidade de falha, já que não possuem pontos móveis que possam quebrar ou falhar. Atualmente, as duas brocas mais comuns são a broca tricônica e a broca de diamante artificial, também conhecida como *Polycrystalline Diamond Compact* (PDC). A broca tricônica é classificada como uma broca com partes móveis e oferece um bom custo-benefício, com baixo custo e alta eficiência. Para cada tipo de formação rochosa, há um formato de dente e inserto mais adequado. Por outro lado, as brocas de PDC são mais caras, pois utilizam diamantes para melhorar a resistência à abrasão. No entanto, são amplamente utilizadas, especialmente em sistemas rotativos orientáveis. As brocas de PDC são classificadas como brocas sem partes móveis, proporcionando maior estabilidade e confiabilidade durante a perfuração. (ZAMPROGNO, 2011).

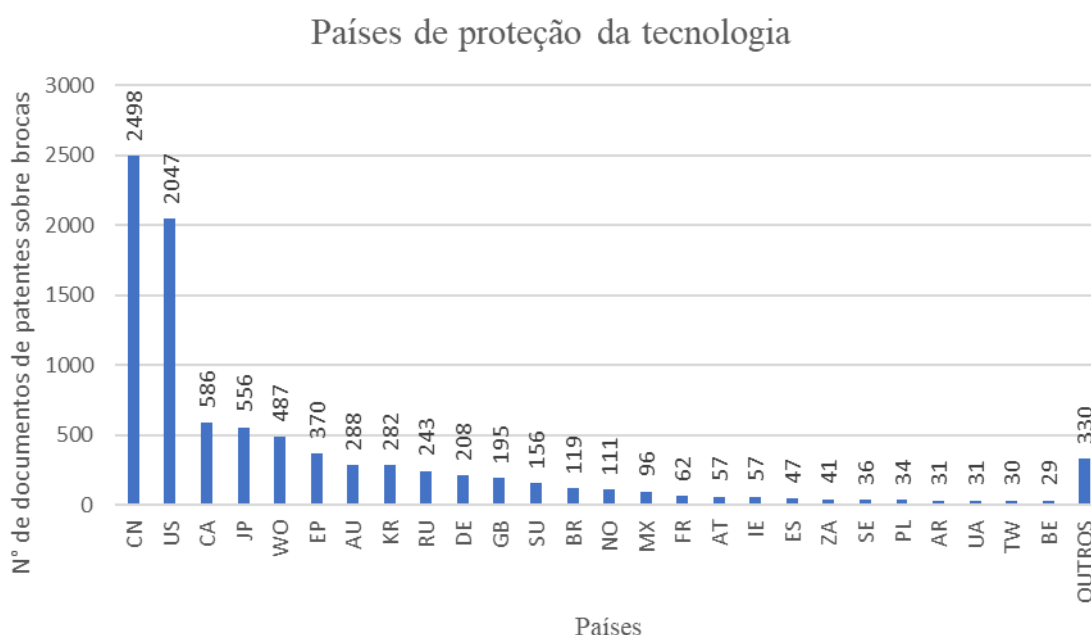
De Almeida, Rodrigues e Antunes (2020) mostraram os focos de melhorias tecnológicas para a broca pelo número de documentos de patentes das empresas.

Foram analisadas as fabricantes *Halliburton*, *Baker Hughes*, *Schlumberger* e *Smith International*, e os autores destacaram que os principais focos tecnológicos priorizados pela *Halliburton* foram: equipamentos (23%), elementos da broca (15%), sensores (16%) e tipo de broca (13%); para a *Baker Hughes* foram: elementos da broca (28%), material da broca (19%), equipamento (18%) e tipo de broca (18%); para a *Schlumberger* foram: equipamento (48%), método de perfuração (25%), sensores (15%) e elementos da broca (13%); e para a *Smith International* foram: elementos da broca (33%), tipo de broca (29%), equipamento (25%) e fabricação de broca (13%).

O país com maior capacitação tecnológica em brocas são os Estados Unidos, enquanto que o Brasil ocupa a 15ª

posição no *ranking* desse setor. Isso reforça a necessidade do Brasil em aprimorar sua capacitação tecnológica no que diz respeito a brocas especializadas, a fim de superar os desafios relacionados ao risco de rochas com perfis geológicos diversos em nosso país (DE ALMEIDA; RODRIGUES; ANTUNES, 2020). Assim, realizando a mesma metodologia proposta por De Almeida, Rodrigues e Antunes (2020), utilizando a classificação internacional de patentes (IPC) (ao utilizar a classificação IPC, é possível obter uma precisão maior na recuperação, pois existe um grupo específico para brocas de perfuração, o E21B 10/00) constatou-se que o Brasil em 2023 ocupa a 13ª posição. Na figura 1, é exposta a classificação dos países.

Figura 1: Distribuição Geográfica pelas Famílias de Patentes



Fonte: Autoria própria (2023).

Definição das siglas dos países: CN (China), US (Estados Unidos), CA (Canadá), JP (Japão), WO (Escritório Mundial de Patentes), EP (Org. Europeia de Patentes), AU (Austrália), KR (Coreia), RU (Rússia), DE (Alemanha), GB (Reino Unido), SU (URSS), BR (Brasil), NO (Noruega), MX (México), FR (França), AT (Áustria), IE (Irlanda), ES (Espanha), ZA (África do Sul), SE (Suécia), PL (Polônia), AR (Argentina), UA (Ucrânia), TW (Taiwan), BE (Bélgica). Outros: Demais países listados a partir da base de patentes utilizada.

Desde a identificação do pré-sal como uma importante fonte de extração até sua consolidação como principal recurso,

foi necessário o avanço no desenvolvimento de plataformas FPSOs (*Floating Production, Storage and*

Offloading Systems) cada vez mais eficientes e sustentáveis em termos ambientais. Isso tornou os subsistemas de separação, compressão e reinjeção de CO₂ essenciais para a operação dessas plataformas (LOPES, 2022).

3 PROCESSOS METODOLÓGICOS

O método utilizado para a feitura deste artigo científico foi a pesquisa bibliográfica almejando um caráter exploratório, utilizando-se para tal, materiais, artigos, revistas, jornais e periódicos na internet. Bem como estudar e debater a respeito das tecnologias utilizadas na perfuração de poços de petróleo, questão ambiental e perspectiva sobre a perfuração em território brasileiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TECNOLOGIA DO SISTEMA DE PERFURAÇÃO ATUAL

Com o desenvolvimento das tecnologias de inteligência artificial, muitos ambientes da sociedade vêm utilizando as vantagens que esse sistema trás em relação a padrões e tomadas de decisão. Gundersen et al. (2013) apresentou um sistema de *software* para apoiar decisões em tempo real na realização de operações de perfuração de poços de petróleo denominado *DrillEdge*. O *software* mostrou como os métodos de inteligência artificial ajudaram, através de raciocínio baseado em casos, correspondência de padrões e sistemas de agentes, grandes operadores de perfuração de poços de petróleo a evitar cometer os mesmos erros repetidamente.

Com o objetivo de avaliar o uso de técnicas de aprendizado de máquina para a previsão da taxa de perfuração (ROP) durante a perfuração de poços de petróleo *offshore* do pré-sal da Bacia de Santos, Branco e Gomide (2021) utilizaram o algoritmo da floresta aleatória (também

conhecido como floresta de decisão aleatória), e o desempenho foi avaliado pelas métricas MAE normalizado pela média e R² (Coeficiente de determinação, denota o quão próximo os dados se ajustam à curva estatística proposta). Os resultados obtidos foram inferiores a trabalhos semelhantes verificados pelos autores e foi indicado a falta de dados como um provável motivo. Nos experimentos numéricos realizados, a característica com maior importância para todos os poços foi a proximidade da broca. A variação do número de estimadores teve pouco efeito no desempenho do algoritmo, o que justificaria a escolha de um número menor de árvores em favor de menor custo computacional.

A indústria do petróleo e gás tem adotado a nanotecnologia em suas práticas. Muitos reservatórios de hidrocarbonetos apresentam grandes desafios para produzir e requerem métodos mais avançados. Kapusta, Balzano e Te Riele (2011), concluíram que a nanotecnologia oferece possibilidades de mudar a maneira de exploração e produção de petróleo e gás. A nanotecnologia foi utilizada em setores tais como a exploração sísmica, sistemas de perfuração, produção e recuperação avançada de petróleo (KONG; OHADI, 2010). Para uma revisão bibliográfica mais abrangente a respeito das aplicações de nanopartículas na indústria de petróleo e gás, recomenda-se o trabalho de Alsaba, Al Dushaishi e Abbas (2020).

Observou-se ainda que a aplicação da nanotecnologia melhorou muito a capacidade de extração de hidrocarbonetos. Além disso, os nanomateriais também foram usados em setores de transporte e armazenamento de hidrocarbonetos e outras aplicações de refino e processamento (BOU-HAMDAN, 2022).

5.2 EXPECTATIVA NO BRASIL

No Brasil, a Petrobras realizou, no pré-sal da Bacia do Espírito Santo,

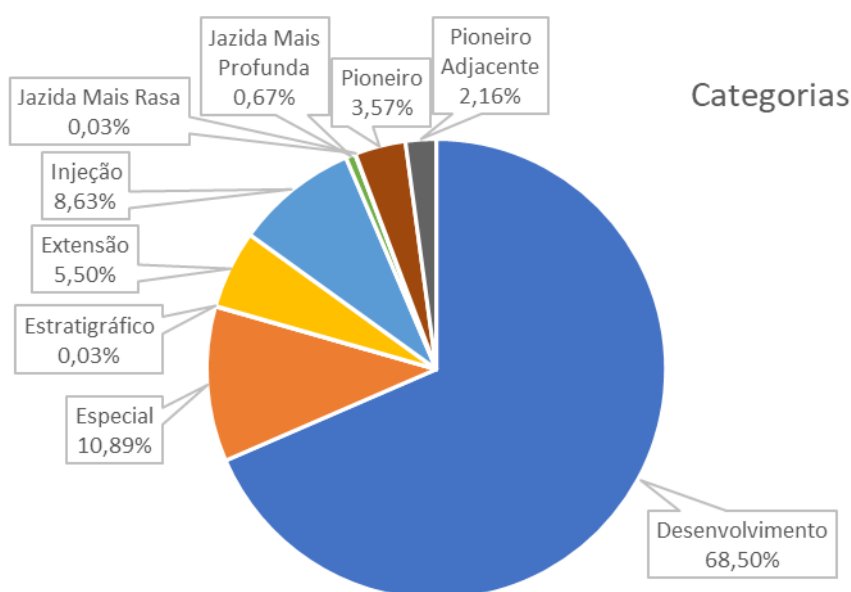
perfurado a 145 km da costa, em localização conhecida como “Monai”, o recorde de poço mais profundo já perfurado no Brasil, com cerca de 7.700 metros. Além disso, também quebrou o recorde de maior camada de sal já perfurada no país, com aproximadamente 4.850 m (PETROBRAS, 2021a).

Desde de 2010, a Petrobras diminuiu continuamente o tempo total de perfuração e completação dos poços. Em 2010, a média era aproximadamente de 310 dias;

em 2015, passou para 128 dias e, em 2016, no pré-sal da Bacia de Santos, o tempo baixou para 89 dias (PETROBRAS, 2021b).

A quantidade de poços perfurados segundo o tipo de trajetória direcional no Brasil soma 5.481 poços até 2020 (SILVA et al., 2020). Utilizando-se da tabela de poços disponibilizada pela ANP, vemos que em 2023 o Brasil soma 5931 poços. Com isso, tem-se um panorama geral mostrado na figura 2.

Figura 2: Poços direcionais já perfurados no Brasil de acordo com sua categoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

A Eneva (empresa brasileira integrada de energia que atua nos setores de geração, exploração e produção de petróleo e gás natural e comercialização de energia elétrica) deu início a uma nova campanha, com investimentos que ultrapassam R\$ 100 milhões de perfuração de poços na Bacia do Parnaíba, no Maranhão. Ao longo do ano de 2021, a companhia planejou perfurar novos poços exploratórios e de desenvolvimento nas concessões que detém no estado. Essa campanha ocorreu após a aquisição de 5 mil quilômetros de dados sísmicos 2D em 2020, com informações sobre a geologia da região, e seguiu-se até 2022 (ENEVA, 2021).

A própria Eneva explorou os dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), de 2019 até maio de 2021, informando que foram perfurados 49 poços exploratórios. A maioria deles perfurados pela empresa, no Maranhão. Dos 32 poços terrestres perfurados em 2020, 18 foram na Bacia do Parnaíba (ENEVA, 2021).

A ANP (2022a) indicou em seu site, uma previsão de atividades, investimentos e produção para 2023, ela previu que seriam explorados 11 poços de petróleo *offshore* e 22 *onshore*, totalizando 1,5 bilhões de dólares de orçamento previsto. Haverá aquisição de 2.646 km e no processamento de 2346 km de sísmica

2D. Já as atividades referentes à sísmica 3D deste ano terão 522 km² de aquisição e 925 km² de processamento.

Salienta-se também que a própria ANP também fornece a previsão de produção dos poços. Em 2022 foram previstos a produção de 475.562,83 m³/dia para o petróleo e de 146.292,88 m³/dia para o gás natural, em 2023, os valores foram previstos para 541.724,4 m³/dia para petróleo e 160.480,71 m³/dia para o gás natural e para 2024, para petróleo e para o gás natural. A previsão dos anos seguintes também continua crescente, o que corrobora com a ideia da evolução das tecnologias empregadas para produção do petróleo e também o acréscimo de novos poços de produção de petróleo que são previstos para serem perfurados (ANP, 2022b).

O uso de FPSOs (*Floating Production, Storage and Offloading Systems*) têm se tornado cada vez mais frequentes. Os navios-plataformas funcionam como unidades industriais completas, pois têm a capacidade de armazenar e processar o petróleo, separando-o do gás e da água, além de remover as impurezas. Eles são equipados com várias instalações, incluindo alojamentos, refeitórios, laboratórios, salas de controle, geradores de energia, depósitos para materiais, peças e equipamentos (CAMPELLO, 2021). Eles vêm sendo amplamente usados pela Petrobras em seus métodos de produção de petróleo *offshore*.

Ao longo dos últimos anos, a Petrobras tem utilizado sua experiência em operações e sua inovação tecnológica para reduzir gradualmente o custo médio de extração de petróleo do pré-sal. Como resultado, o conhecimento acumulado tem permitido que a empresa realize a extração de petróleo de forma mais eficiente e econômica. O valor do barril de óleo equivalente (óleo + gás) sem o valor de *leasing cost* (afretamento dos cascos das plataformas) passou de US\$ 6,0 por barril

de óleo equivalente em 2014, para US\$ 5,3 em 2015, US\$ 4,5 em 2016, US\$ 4,0 em 2018. Em setembro de 2022 a Petrobras destacou o valor de US\$ 3,3 por barril (PETROBRAS, 2023).

Por fim, há uma expectativa de que o país se torne o quarto maior produtor de petróleo até o ano de 2030, com novos investimentos no setor e uma abertura maior de mercado, trazendo competitividade, maior dinamismo e pluralidade dos agentes, visto que, segundo o secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Ministério de Minas e Energia, José Mauro Coelho, em entrevista ao programa de televisão programa Brasil em Pauta, em agosto de 2021, “a concentração de mercado é uma barreira a investimentos e a novos entrantes” (UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA, 2021).

5.3 QUESTÃO AMBIENTAL

Um ponto que se torna cada vez mais relevante para a engenharia é a preocupação ambiental. Embora a perfuração de poços marítimos de óleo e gás em águas profundas possa ter impactos ambientais, a maior preocupação está relacionada aos eventos acidentais, tais como a erupção do poço (*blowout*) e os vazamentos que podem ocorrer na plataforma ou em barcos de apoio próximos à costa. Esses eventos têm o potencial de causar graves danos ambientais e econômicos, o que faz com que a prevenção e a mitigação desses riscos sejam uma prioridade na indústria petrolífera. O vazamento de óleo para o mar pode impactar a pesca e o turismo, principalmente no caso de a mancha atingir a costa. Dependendo da gravidade, a erupção pode evoluir para incêndios e explosões, com risco de lesão e morte para os trabalhadores, além do risco da perda do poço. (SCHAFFEL, 2002).

É muito comum ocorrer a contaminação do solo devido ao

derramamento acidental de óleo e vazamento de hidrocarbonetos de petróleo, tais como gasolina e diesel. Esses produtos não são facilmente solúveis em água e os impactos desses compostos no meio ambiente geralmente são muito graves. Portanto, é necessária a limpeza dos locais contaminados com óleo. Vários métodos físicos e químicos foram investigados, todavia eles também prejudicam o meio ambiente de certo modo. A fitorremediação com diferentes espécies vegetais é uma opção esteticamente agradável e é a melhor técnica de manejo de poluentes orgânicos e inorgânicos. Várias espécies de plantas podem degradar, estabilizar ou acumular, volatilizar e estimular a remoção de contaminantes do petróleo (KUMARI et al., 2021).

Soares, Garnica e Curbelo (2020) desenvolveram um fluido de base microemulsionada aplicável à perfuração de poços de petróleo que se destaca por ser biodegradável. Os autores conduziram uma investigação para encontrar um ponto de microemulsão utilizando diagramas de fases ternários. O ponto de microemulsão foi obtido a partir de três componentes: óleo de canola como fase oleosa, solução aquosa de 2% de KCl como fase aquosa e o tensoativo não iônico NP40 como base para o fluido. Esse ponto de microemulsão foi então modificado com aditivos para agregar características desejáveis ao fluido de perfuração.

Outra questão importante da perfuração é o cascalho de perfuração de petróleo, resíduo oleoso oriundo das atividades de exploração e produção de petróleo. Estes são fragmentos de rocha deslocados pela broca e levados pelo fluido de perfuração durante a perfuração do poço. Quando acontece a disposição inadequada no meio ambiente, acontece a poluição do solo, deterioração da paisagem urbana e constituem um passivo ambiental, caso sejam destinados a aterros sem tratamento prévio. Após as análises

mecânicas verificou-se a viabilidade técnica de utilização desse cascalho como *filler* nas misturas asfálticas em obras de pavimentação, desde que observada as condições de utilização, atentando a necessidade de melhoria da adesividade do cimento asfáltico de petróleo ao agregado utilizado (CARVALHO, 2021).

As emissões de carbono têm sido apontadas como uma das principais causas do aquecimento global e das mudanças climáticas observadas nas últimas décadas. A redução dessas emissões tem sido um desafio global, que requer mudanças profundas nos padrões de consumo e na forma como a energia é produzida e utilizada. A fim de reduzir emissões, grandes operadoras no pré-sal brasileiro traçam estratégias para reduzir a quantidade de carbono da produção, buscando por mais eficiência, eletrificação e automação de sistemas. A exploração de petróleo realizada no Brasil varia entre 20 a 30 kg de CO₂ por barril, acima da média mundial de 18 kg CO₂ por barril, sendo que a Petrobras tem a intenção de atingir metas de 15 kg CO₂ por barril (MACHADO, 2021).

Um desafio levado para o *offshore* é a eletrificação, em que está abrindo a possibilidade de usar menos óleo e mais gás como combustível para a conversão de energia. Este processo será feito pela implementação de turbina a gás nas turbinas de vapor para aproveitar o calor excedente que seria perdido nas turbinas de vapor. Como consequência deste aproveitamento, a estimativa é de redução em 25% das emissões de CO₂ (MACHADO, 2021).

5 CONCLUSÕES

Nota-se que a perfuração direcional traz vantagens, se comparada com os outros tipos de perfuração, mas também traz custos maiores e um planejamento mais rigoroso para execução. Há espaço

para mais desenvolvimento na técnica e nos materiais, o que poderia prover uma redução nos custos de equipamentos.

Conclui-se, portanto, que o cenário, à medida que o tempo passa, se apresenta cada vez mais favorável ao desenvolvimento de novas técnicas, não só de perfuração, mas nas mais diversas áreas do setor petrolífero.

Como observado, o setor de perfuração do petróleo vem buscando avanços em tecnologias de modo a agilizar o método e minimizar desperdícios. Alguns exemplos dessa afirmação são os focos de melhoramento dos equipamentos das empresas apresentadas por De Almeida, Rodrigues e Antunes (2020), a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina para previsão da taxa de perfuração (ROP) durante a perfuração de poços de petróleo *offshore* mostrado por Branco e Gomide (2021), o emprego da nanotecnologia em todas as áreas do processo de obtenção do petróleo e seu refino exposto por Bou-Hamdan (2022).

O mercado de perfuração brasileiro mostra-se otimista para o futuro e projeta um aumento da quantidade produzida diariamente, tanto para o petróleo quanto para o gás natural. Isso pode ser inferido devido ao ideal pelo aumento tecnológico que ocorre ao longo dos anos, a perfuração de novos poços e métodos de recuperação de poços de petróleo.

O lado ambiental também vem ganhando relevância nos debates devido às necessidades de exploração de recursos naturais de modo consciente. Schaffel (2002) explicou que a maior fonte de preocupação são os *blowouts* e vazamentos da plataforma ou de barcos de apoio próximos à costa.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a Márcio Almeida de Oliveira,

Pós-graduando em Sistemas Offshore pela COPPE/UFRJ, e atualmente como Gerente da Qualidade na NOV, e ao professor José Eduardo Rigo por sua inestimável contribuição para este estudo. Através de sua expertise, conhecimento aprofundado e orientação, eles aprimoraram a qualidade e a precisão do texto, garantindo que as informações estivessem corretas, bem embasadas e completas. Estamos imensamente gratos pela disponibilidade, dedicação e forma exemplar como ambos compartilharam seus conhecimentos e nos ajudaram a enriquecer este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALSABA, Mortadha T.; AL DUSHAISHI, Mohammed F.; ABBAS, Ahmed K. **A comprehensive review of nanoparticles applications in the oil and gas industry.** *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, v. 10, p. 1389-1399, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-019-00825-z>>. Acesso em 03 de abr. de 2023.

ANP. **SIGEP - Previsão de Exploração.** Disponível em: <<http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/sigep/consulta-previsao-exploracao/consulta.xhtml;jsessionid=WIFCQmQx3s265vdWyagQDoHk.hc-web-01:server-app-01>>. Acesso em 12 de fev. de 2022a.

ANP. **SIGEP - Previsão de Produção.** Disponível em: <<http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/sigep/consulta-previsao-producao/consulta.xhtml>>. Acesso em 12 de fev. de 2022b.

BOU-HAMDAN, Kamel Fahmi. **Applications of Nanomaterials in the Oil and Gas Industry.** In: Handbook of Research on Green Synthesis and Applications of Nanomaterials. IGI Global, 2022. p. 173-198.

BRANCO, André; GOMIDE, Janaína. **Previsão de Taxa de Perfuração em Poços de Petróleo Offshore Utilizando Aprendizado de Máquina.** In: Anais do XVIII Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional. SBC, 2021. p. 504-515. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/eniac/article/view/18279/18113>>. Acesso em 14 de jan. de 2022.

BRITTO, Guilherme Augusto dos Santos. **Engenharia Mecânica Específica e suas aplicações na perfuração de poços de petróleo.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000095.pdf>>. Acesso em: 12 de jan. de 2022.

CAENN, Ryen; DARLEY, Henry CH; GRAY, George R. **Composition and properties of drilling and completion fluids.** Gulf professional publishing, 2011.

CAMPELLO, Mauro Luiz Costa. **Logística: contribuições para melhorias na produção e nos resultados.** Guarujá, SP: Científica Geral, 2021.

CAMPOS, Lizandra Fernanda Araújo et al. **Composições de argilas bentoníticas para utilização em fluidos de perfuração de poços de petróleo.** 2007. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/2057>>. Acesso em 24 de jan. de 2022.

CARVALHO, Flávia do Socorro de Sousa et al. **Estudo de misturas asfálticas com adição de cascalho de poços de perfuração.** 2021. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/21910>>. Acesso em 19 de jan. de 2022.

DE ALMEIDA, Fabiana Silvia; RODRIGUES, Ricardo Carvalho; ANTUNES, Adelaide Maria S.

Prospecção tecnológica em brocas de perfuração em poços de petróleo. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 4, p. 21232-21253, 2020. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/9219/7789>>. Acesso em 14 de jan. de 2022.

ENEVA. **Eneva investe R\$ 100 milhões na perfuração de novos poços na Bacia do Parnaíba.** Disponível em: <<https://eneva.com.br/noticias/eneva-investe-r-100-milhoes-na-perfuracao-de-novos-pocos-na-bacia-do-parnaiba/>>. Acesso em 12 de fev. de 2022.

GANDELMAN, Roni Abensur. **Predição da ROP e otimização em tempo real de parâmetros operacionais na perfuração de poços de petróleo offshore.** 2012. Tese de Doutorado, UFRJ. Disponível em: <<http://186.202.79.107/download/predicao-da-rop-e-otimizacao-em-tempo-real.pdf>>. Acesso em 03 de abr. de 2023.

GUNDERSEN, Odd Erik et al. **A real-time decision support system for high-cost oil-well drilling operations.** Ai Magazine, v. 34, n. 1, p. 21-21, 2013. Disponível em: <<https://ojs.aaai.org/index.php/aimagazine/article/view/2434>>. Acesso em 19 de jan. de 2022.

KAPUSTA, Sergio; BALZANO, Leandro; TE RIELE, Paul M. **Nanotechnology applications in oil and gas exploration and production.** In: International Petroleum Technology Conference. OnePetro, 2011.

KONG, Xiangling; OHADI, Michael M. **Applications of micro and nano technologies in the oil and gas industry-an overview of the recent progress.** In: Abu Dhabi international petroleum exhibition and conference. OnePetro, 2010.

KUEHN, Andrej Luigi Tommasi Oliveira. **Técnicas de perfuração com gerenciamento de pressão aplicáveis aos reservatórios carbonáticos do pré-sal brasileiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009454.pdf>>. Acesso em 12 de fev. de 2022.

KUMARI, Khushbu et al. **Selection of plant species for phytoremediation of oil drilling sites: An overview**. Phytoremediation of Abandoned Mining and Oil Drilling Sites, p. 455-472, 2021. Disponível em : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128212004000066>>. Acesso em 15 de jan. de 2022.

LOPES, J. G. **Análise exérgica de um sistema de compressão de CO2 de uma plataforma FPSO**. 2022. 146 f.

LUCCHESI, Celso Fernando. **Petróleo**. Estudos avançados, v. 12, p. 17-40, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/RDLx4Hjt5zTdhQSSj8w3xk/?lang=pt>>. Acesso em 04 de jan. de 2022.

MACHADO, Nayara. **O que as petroleiras estão fazendo para descarbonizar o pré-sal**. EPBR. 24 de nov de 2021. Disponível em: <<https://epbr.com.br/o-que-as-petroleiras-estao-fazendo-para-descarbonizar-o-pre-sal/>>. Acesso em 12 de fev de 2022.

MATHIAS, Victor Machado. **Coluna de perfuração em poços de petróleo**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <<https://antigo.monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/3051/1/TCC%20-%202016.2%20-%20VICTOR%20MACHADO%20MATHIAS.pdf>>. Acesso em 03 de abr. de 2023.

MORAIS, José Mauro de. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea: Petrobras, 424 p., 2013.

PETROBRAS. **Pré-Sal**. 2023. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em 05 de abr. de 2023.

PETROBRAS. **Perfuramos com sucesso poço mais profundo da história do Brasil**. 2021a. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/perfuramos-com-sucesso-poco-mais-profundo-da-historia-do-brasil.htm>>. Acesso em 24 de jan. de 2022.

PETROBRAS. **Tecnologias pioneiras do pré-sal**. 2021b. Disponível em: <<https://presal.petrobras.com.br/tecnologia-s-pioneiras/#1>>. Acesso em 24 de jan. de 2022.

SANTOS, M. Barreto. **Perfuração de poços de petróleo: fluidos de perfuração**. Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n. 1, p. 121-127, 2012.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. **A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil**. COPPE, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/schaffelsb.pdf>>. Acesso em 04 de jan. de 2022.

SEIXAS, Jairo Ezequiel de et al. **Aditivação de Fluidos de perfuração**. 2010.

SILVA, Jéssica Vasconcelos Carvalho; EVARISTO, Gabriele Sines; DA SILVA, Nayara Gonçalves. **Síntese e Otimização de Poços de Petróleo Direcionais e Horizontais**. 20º Congresso Nacional de

Iniciação Científica. SEMESP. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas - FMU, 2020. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2020/trabalho-1000006651.pdf>>. Acesso em: 12 de jan. de 2022.

SOARES, Anderson Shimenes Lacerda; GARNICA, Alfredo Ismael Curbelo; DA SILVA CURBELO, Fabíola Dias. **Estudo reológico de um fluido de perfuração com características biodegradáveis a base de tensoativo NP40 e óleo de canola**. HOLOS, v. 6, p. 1-15, 2020.

SOUZA, Helena Mariana et al. **PERFURAÇÃO DE POÇOS DIRECIONAIS NA INDÚSTRIA DE PETROLÍFERA**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 4, n. 3, p. 39-39, 2018.

SOUZA, L. Z. **Estudo do Estado da Arte da Perfuração Direcional de Poços de Petróleo**. 2011. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. **Como o Brasil quer se tornar o quarto maior produtor de petróleo até 2030**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2021/08/02/como-o-brasil-quer-se-tornar-o-quarto-maior-produtor-de-petroleo-ate-2030y.html>>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

ZAMPROGNO, Lorenzo de Souza. **Estudo do Estado da Arte da Perfuração Direcional de Poços de Petróleo**. UFES, 2011. Disponível em: <https://mecanica.ufes.br/sites/engenharia_mecanica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_lorenzo-_estudo_do_estado_de_arte_da_perfuracao

[_direcional_de_pocos_de_petroleo_versao_revisada.pdf](#)>. Acesso em: 20 de jan. de 2022.