

## ESTUDO DAS APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

Stéphaney Medeiros Miranda<sup>1</sup> Marielce de Cássia Ribeiro Tosta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário do Norte do Espírito Santo –  
[stephany.medeiros@gmail.com](mailto:stephany.medeiros@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário do Norte do Espírito Santo –  
[marielce.tosta@ufes.br](mailto:marielce.tosta@ufes.br)

### RESUMO

A perfuração envolve operações e atividades complexas que estão sujeitas a anormalidades como: perda de circulação, kick, prisão diferencial, desmoronamento, fechamento, alargamento, má limpeza do poço, entre outros. Os fluidos de perfuração são apresentados como os principais responsáveis pelos problemas citados. A fim de melhorar a eficácia dos fluidos tem-se utilizado aditivos, mas estes podem causar problemas ambientais e ainda existem as limitações quanto a solubilidade. Para tentar minimizar estes problemas estudos vem sendo realizados com a utilização da nanotecnologia. No entanto, não há em um único texto os resultados destes trabalhos. Assim sendo, o objetivo de artigo foi agrupar os melhores resultados, por meio de uma vasta revisão de literatura de modo a minimizar este problema e contribuir para futuras pesquisas na área. Os principais problemas descritos foram: prisão diferencial de coluna; substituição de aditivos químicos; remoção de gás tóxico; redução de torque e arrasto da coluna e inchamento das argilas. Pode-se concluir que são inúmeros os problemas que a nanotecnologia pode solucionar no processo de exploração de petróleo e deve ser incentivada a continuidade dos estudos. No entanto, ressalta-se que a implementação de novas tecnologias é um processo demorado e possui risco. O uso dos nanomateriais poderá substituir de os métodos tradicionais ineficazes caros e danosos ao meio ambiente, de forma a minimizar à perda para a formação, manter a pressão do poço estável, diminuir os riscos de prisão diferencial e os outros problemas citados.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia, indústria, petróleo, problemas, operacionais.

### 1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do petróleo se inicia no levantamento de dados geológicos e geofísicos que serão referências para a exploração e perfuração de novos poços (*onshore* ou *offshore*), ao determinar a localização uma nova fase se inicia: a perfuração. Esta fase possui um conjunto de atividades complexas que envolvem inúmeras variáveis, o que acarreta ser um processo sujeito a problemas frequentes mesmo com toda a evolução de técnicas e de equipamentos existentes.

Quando anormalidades ocorrem na operação de perfuração causam prejuízos que podem pôr em risco a viabilidade do projeto, estes prejuízos estão relacionados ao tempo adicional de contrato da sonda, ao atraso de cronograma e até mesmo a perda do poço. Exemplos de anormalidades são: perda de circulação, kick, prisão diferencial, batente, desmoronamento de poço, fechamento ou

alargamento do poço, erosão na formação, má limpeza do poço, problemas do *packer* hidráulico (pack-off) e encerramento da broca [THOMAS, 2004]. A corrosão é outro fator que pode causar fraturas repentinas em partes críticas de equipamentos. O aço carbono, o mais utilizado na indústria de maneira geral é o mais afetado por efeitos corrosivos.

Na indústria petrolífera, principalmente a *offshore*, onde condições severas de pressão e temperatura atuam, o efeito da corrosão é muito frequente [FRAUCHES *et al*, 2014]. Com isso, a indústria sempre busca, através de desenvolvimento em pesquisas, encontrar novas tecnologias que sejam capazes de solucionar estes problemas de forma que os ganhos sejam tanto operacionais quanto econômicos.

Os custos que envolvem o processo de perfuração são elevados, uma sonda possui custo diário que varia entre US\$ 600 a US\$ 700 mil. Qualquer parada faz com que estes valores aumentem rapidamente. A perfuração já possui em seu cronograma paradas obrigatórias, tais como: troca de equipamentos, manutenção, condições oceano-meteorológicas adversas, e isto somado as eventuais paradas devido aos problemas operacionais podem acarretar inviabilidade do projeto e continuidade da operação [OLIVEIRA, 2008].

A busca por soluções dos problemas de perfuração se inicia em conhecer os seus principais causadores, estes que estão relacionados com as características da formação, propriedades do fluido utilizado e condições temporais. Os fluidos de perfuração exercem várias funções essenciais na operação de exploração de petróleo e quando mal dimensionados são responsáveis pelos principais problemas relatados, mas exercem funções importantes: transmitir energia hidráulica às ferramentas de perfuração; controlar a corrosão das ferramentas de perfuração; levar os cascalhos à superfície; manter os cascalhos em suspensão numa parada de circulação; estabilizar as paredes do poço; exercer pressão hidrostática para equilibrar a pressão; fornecer informações sobre o fundo do poço; contribuir para a sustentação das paredes do poço; aliviar o peso da coluna de perfuração (flutuação) e minimizar o impacto ambiental.

Esses fluidos, chamados de lama de perfuração são formulados a base de água, óleo e, ou gás com a adição de ativos, produtos químicos que visam à melhoria de suas propriedades físicas e químicas, como a densidade, viscosidade, reologia e condutividade [APALEKE *et al.*, 2012]. De acordo com Shah *et al* [2010] citado por Al-Yasiri *et al* [2015] as lamas à base de óleo e, ou de água podem acarretar problemas em algumas formações, como o inchaço em argilas o que ocasiona a prisão do tubo na coluna de perfuração.

Quando há o emprego de aditivos, em que a principal função é melhorar o desempenho dos fluidos, há alteração na composição destas lamas [AL-YASIRI *et al.*, 2015]. Apesar do emprego desses aditivos, muitas vezes prejudiciais ao meio ambiente, ainda há limitações como a solubilidade de sais em fluidos à base de água. Já as lamas a base de óleo não são bem vistas ambientalmente, apesar de ser fluido utilizado em condições de temperatura e pressão elevadas, eles podem acarretar danos ao meio ambiente, além de contaminarem aquíferos, disseminarem recifes de corais [OAKLE *et al.*, 1991] e possuírem um alto custo. Adicionalmente, características como a reologia, viscosidade, densidade e força de gelificação são fatores que determinam as especificações funcionais nas lamas para evitarem os possíveis problemas antes relatados.

Diante deste cenário surgiu a nanotecnologia uma ciência recente que está sendo empregada em diversos ramos industriais com bons resultados. O grande diferencial da nanotecnologia é potencializar as propriedades físicas e químicas em concentrações reduzidas e conferir características antes não apresentadas por um dado material [ABDI, 2010]. Sua aplicação no ramo de petróleo e gás abrange desde as atividades de prospecção (monitoramento inovador e nanosensores), exploração (nanofluidos, novos aditivos etc), produção, recuperação de óleo, processos de fraturamento e refino.

Em vista disso a indústria de petróleo tem se aproximado da nanotecnologia em busca de novas soluções para os problemas citados e muitos outros relacionados em toda cadeia produtiva, as pesquisas identificaram possíveis soluções e uma delas é a utilização de nanofluidos, ou seja, fluidos que possuem em sua composição nanopartículas capazes de oferecer às lamas de perfuração uma maior estabilidade, desempenho e tornar uma perfuração inviável (poços HTHP) em viável do ponto de vista operacional [EVDOKIMOV *et al.*, 2006].

O uso de nanopartículas em fluidos de perfuração modifica suas propriedades reológicas, mudando a composição, distribuição das partículas em situações particulares, o que elimina o uso de caros aditivos, adicionalmente ao superior desempenho dos nanofluidos está o seu baixo custo. Pode-se citar entre os benéficos técnicos e econômicos associados aos nanofluidos: redução dos custos dos fluidos de perfuração, já que o seu uso substitui a adição de caros aditivos; possibilita a perfuração e recuperação de óleo em reservatórios profundos e desafiadores; reduz o tempo não produtivo a partir do momento que elimina os problemas operacionais; o seu uso é favorável em poços horizontais e direcionais; e mantém o *under-balance* controlado durante as operações de perfuração [ABDO; HANEEF, 2010].

Diante deste cenário o objetivo deste artigo foi avaliar a aplicação da nanotecnologia, especificamente os nanofluidos na indústria de óleo e gás, avaliar quais problemas operacionais esta tecnologia pode atuar e levar à indústria benefícios econômicos, técnicos e humanos. A importância desta revisão deve-se ao fato de que não há na literatura um texto em que reúna os principais resultados da aplicação da nanotecnologia em fluidos de perfuração. Assim sendo esperar-se contribuir com uma base de conhecimento, a fim de facilitar o desenvolvimento de novas pesquisas a serem realizadas nesta área de estudo, além de identificar áreas onde há novas oportunidades.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho seguiu uma linha exploratória por meio de pesquisa bibliográfica sistemática em que os artigos analisados estavam associados à aplicação da nano em fluidos de perfuração. Somente foram incluídos estudos originais que apresentassem resultados de impacto ao assunto tratado, assim como a priorização de pesquisas realizadas a partir do ano 2000 com métodos empíricos.

Uma pesquisa prévia sobre os problemas mais recorrentes na fase de exploração do petróleo foi realizada com o objetivo de identificar os principais causadores e suas consequências e em quais áreas a nanotecnologia poderia ser aplicada de forma mais eficientes. Os fluidos de perfuração foram os mais citados entre os pesquisadores dentre aqueles que causam problemas na fase de perfuração, e os nanofluidos os que mais poderiam suprir este problema.

A pesquisa de artigos foi realizada na base de dados da *OnePetro*, *JPT (Journal of Petroleum Technology)*, dissertações de mestrado e doutorado, dados de patentes dos EUA, livros e artigos publicados em eventos internacionais. As referências bibliográficas presentes nos artigos também foram consultados. Palavras - chaves como nanotecnologia (*nanotechnology, nano*), nanofluidos (*nanofluids*), indústria de óleo e gás (*industry oil and gas*), perfuração (*drilling*), fluidos de perfuração (*drilling fluids*) aprimoraram o método de busca.

Os artigos que se adequavam aos critérios de inclusão foram utilizados e aqueles que não apresentavam foram excluídos da análise. Uma síntese foi realizada para cada artigo estudado, priorizando as informações do uso de nanofluidos para minimizar os problemas operacionais. Para cada problema buscou-se o maior número de trabalhos realizados com a utilização de nanofluidos nos últimos anos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Nanotecnologia e a prisão diferencial de coluna

A prisão diferencial da coluna ocorre quando a pressão hidrostática fornecida pelo fluido de perfuração é menor do que a da formação, o que resulta na perda dos movimentos axiais e radiais, ficando presa à parede do poço e até mesmo resultando em quebra de alguma parte da coluna ou ferramentas, as consequências de uma prisão diferencial são dispendiosos e incluem: perda de tempo de perfuração; tempo e custo de pesca, ao tentar retirar a parte quebrada ou BHA presa; e abandonar ferramentas que ficaram presas no tubo, já que muitas vezes tornasse caro retirá-las [PAIAMAN; AL-ANAZI, 2008].

A perda de pressão hidrostática do fluido de perfuração está muitas vezes ligada a infiltração da lama na formação. Uma das aplicações da nanotecnologia para minimizar a prisão diferencial é utilizar nanopartículas em fluidos de perfuração, ocasionando mudanças em suas propriedades, Paiaman *et al.* [2008] utilizou partículas de carbono com dimensões iniciais de 30nm e posteriormente de 150-500nm. Estas partículas tornaram a lama de perfuração menos permeável, mais contínua, menos densa e menos viscosa proporcionando menor infiltração do fluido na formação e minimizando a queda de pressão. Além disso, as nanopartículas de carbono possuem estabilidade térmica até 3000°F. As Tabelas 1 e 2 exemplificam as mudanças devido a adição das nanopartículas.

Tabela 1- **Efeito de nanopartículas na densidade da lama de perfuração**

Pressão e temperatura	Lama inicial	Adição de 2% no volume de nanocarbono na lama	Percentual de melhoria
100 psi, 80 F	32/4	32/3	25%
500 psi, 300 F	32/11	32/8	27%

Tabela 2- **Efeito das nanopartículas na redução da viscosidade**

Temperatura	Viscosidade inicial, cP	Viscosidade após a adição de nanopartículas, cP
100 F	32	24
275 F	38	23

Quando nanopartículas são empregadas nos fluidos de perfuração proporcionam melhor dispersão e conseqüentemente formam camada ultrafina na parede do poço, o que reduz a prisão da coluna devido a bolos de lama que se formam nas paredes [AMANULLAH *et al* 2009].

Panmani *et al* [2016] formularam nanofluidos de CuO e ZnO em polieteno de glicol ( PEG – 600) e apresentaram melhorias nas propriedades da lama em relação a perda fluido para a formação por infiltração. No estudo, compararam a redução de volume dos fluidos adicionados com micropartículas e com nanopartículas, enquanto os primeiros perderam, durante um período de 30 minutos, volume de 30cm<sup>3</sup>, os nanofluidos somente 7cm<sup>3</sup>, isto se deve a estabilidade nas propriedades reológicas que as nanopartículas proporcionaram, além de formarem camada espessa de pouca permeabilidade na formação reduzindo a filtração do fluido.

Wahi *et al* [2015] estudaram como nanosílica em fluidos de perfuração influenciam na perda dos fluidos. Em poços denominados *High Temperature and High Pressure* (HTHP) os nanofluidos com partículas de sílica reduziram 41,67 % do volume infiltrado para temperatura de 275 °F e em poços com temperaturas elevadas de 350 °F a redução foi de 28,57%.

Do mesmo modo, Vryzas *et al* (2015) testaram em laboratório a eficiência de lamas de perfuração ao adicionar nanopartículas, no caso nanopartículas de óxido de ferro foram utilizadas, ao comparar a perda de fluido para a formação dessa lama para as lamas convencionais, no período de 30 minutos, perceberam que enquanto estas perdiam cerca de 10,9 cm<sup>3</sup> de fluido, os nanofluidos somente 9,6 cm<sup>3</sup>, 12% a menos, ao aumentar a concentração de nanopartículas para 1,5% e 2,5% o resultado era de 9 cm<sup>3</sup> e 8,8 cm<sup>3</sup> , 17,4 % e 19,3% respectivamente a menos do que os fluidos utilizados na indústria atual.

O mesmo estudo utilizou nanopartículas de sílica para fazer a mesma análise, em concentração menores de 0,5 % e 1,5%, os nanofluidos obtiveram redução na perda de 54,1 % e 46,8%, respectivamente. Ao aumentar a concentração para 2,5% os autores chegaram a reduzir a perda em até 57,8 %. Para poços de HTHP, os nanofluidos foram igualmente eficazes, sendo que ao adicionar nanopartículas de óxido de ferro, a redução de volume perdido para a formação chegou a 42,5%.

### **3.2. Em substituição de aditivos químicos**

Para manter o poço estável é necessário ajustar de forma adequada a densidade do fluido de perfuração para isso são adicionados aditivos para cada etapa necessária, produzindo grandes quantidades de resíduos. Jimenez *et al.*, [2002] patentearam um método eficaz para ajustar a densidade do fluido de maneira facilmente controlada e ambientalmente aceitável, os inventores criaram nanopartículas superparamagnéticas, cujos tamanhos variavam entre 0,5 a 200 nm que eram introduzidas nos fluidos de perfuração variando sua densidade e logo após estes fluidos eram

expostos a um campo magnético que recuperava as nanopartículas (cerca de 90 %), ou seja, as densidades dos fluidos poderiam ser modificadas adicionando essas nanopartículas ou expondo-o a um campo magnético.

Por isso, grande número de materiais de ponderação utilizados na adaptação da densidade de fluido pode ser significativamente reduzido; grande quantidade de materiais residuais sólidos e líquidos nocivos para o ambiente gerados durante os processos de perfuração podem ser evitada, e, portanto, uma fonte substancial de custo poderia ser guardada [KASIRALVALAD, 2013, p.3]

Jiang L. *et al* [2009], citado por Kasiralavalad [2013], reproduziu um nanocompósito de Bentonita. A bentonita é um argilo mineral adicionado ao fluido de perfuração para adequado controle da pressão hidrostático. Quando o nano compósito foi adicionado ao fluido de perfuração os resultados indicaram melhora nas propriedades reológicas dos fluidos de perfuração, maior resistência ao calor e capacidade de carregar cascalhos, além de possuir bom grau de compatibilidade com o sistema.

Em outro experimento Agarwal *et al* [2013], utilizaram lamas de perfuração que possuem como base uma emulsão de água e óleo, este tipo de emulsão é largamente utilizado em poços HTHP. As lamas de perfuração devem ter alta viscosidade para que seja possível o carregamento de partículas sólidas do fundo do poço para a superfície, devido a isso aditivos químicos são adicionados, como os polímeros [TAUGBOL, 2005] que em altas temperaturas sofrem degradação térmica, causando sérios problemas operacionais, como a sedimentação de material no fundo do poço o que impossibilita o fluxo contínuo da lama, causa prisão diferencial e perturba a estabilidade do poço [OAKLEY, *et al.* 2000]. Partículas de nanosílica e nano argila foram adicionadas com emulsão invertida, os resultados mostraram melhora na estabilidade da emulsão e comportamento de fluxo semelhante às lamas que tiveram adição de polímeros, no entanto o nanofluidos mantinha suas propriedades (viscosidade, elasticidade) em altas temperaturas e por período maior de tempo.

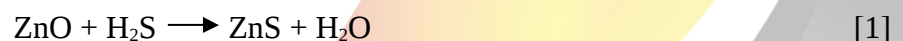
Além de todos as vantagens citadas, Bhawana *et al* [2012] relata em seus experimentos que os produtos nano na perfuração podem ajudar a melhorar o processamento e a redução da quantidade de resíduos gerados, segundo os mesmos os nanofluidos possuem pequeno teor de material nocivo comparado às lamas atuais com aditivos químicos, cita ainda que devido a baixa quantidade de nanopartículas utilizada a perfuração se torna menos agressiva ao ambiente.

### 3.3. Remoção de gás tóxico

É muito frequente na indústria de petróleo, durante a perfuração, o surgimento de gases tóxicos que são prejudiciais à saúde dos trabalhadores, ao meio ambiente e aos equipamentos. Um desses gases é o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). A presença de sulfeto de hidrogênio nos fluidos dos reservatórios é um grande problema na indústria do petróleo e é associada à acidificação do reservatório, deposição de sulfeto de ferro, uma varredura ineficiente e aumento significativo da corrosão. Sua ocorrência pode ocasionar abandono precoce de muitos reservatórios de petróleo e gás devido ao aumento dos custos, diminuição das receitas e as possíveis consequências ambientais. Um reservatório, que inicialmente não possuía sulfeto de hidrogênio pode, ao longo de sua vida produtiva, ter índices do gás. A quantidade de gás necessária para levar riscos ao pessoal e aos equipamentos é da ordem de 0.00011 ppm, isto é uma quantidade insignificante e já ocasiona efeitos ofensivos podendo levar a morte [MAINIER *et al*, 2003].

Os métodos tradicionais para a retirada desde gás utilizam-se aditivos químicos capazes de reagir com o ácido formando produtos inofensivos, no entanto estes métodos se mostram muitas vezes ineficientes e prejudiciais ao meio ambiente quando comparados com o uso da nanotecnologia. Além disso, certos aditivos prejudicam processos de destilação e entopem dutos devido aos precipitados insolúveis [ibid].

Sayyadnejad *et al*. [2008] usou nanopartículas de óxido de zinco de tamanho entre 14-25nm para remover o sulfeto de hidrogênio de um fluido a base de água de acordo com a Equação 1.



Ao comparar a eficiência de remoção do H<sub>2</sub>S do fluido de perfuração quando se utiliza nanopartículas ou partículas de tamanho normal do óxido de zinco, os pesquisadores demonstraram que as partículas sintetizadas são capazes de remover completamente o ácido em fluido a base de água em apenas 15 minutos, enquanto as de tamanho normal removem cerca de 2,5% do ácido ao longo de 90 minutos ambas operando na mesmas condições.

Espin *et al.*, [2005] descobriu um método para remoção tanto de sulfeto de hidrogênio quanto de gás carbônico produzidos no processo de perfuração, e o interessante dessa invenção é a alta capacidade de adsorção de H<sub>2</sub>S mesmo na presença de CO<sub>2</sub>, o que não é observado em sistemas convencionais. O método consiste em adicionar nanopartículas de óxidos de metal ou hidróxidos de metal no fluxo de produção dos hidrocarbonetos e assim adsorver os contaminantes presentes.

Uma invenção altamente vantajosa que proporciona excelente redução dos gases tóxicos presentes no fluxo de hidrocarbonetos comparado à capacidade dos produtos atuais, além disso, os



subprodutos encontrados são sulfatos de metal compatíveis com o ambiente e podem até ser utilizados na agricultura como adubo para o solo e na fabricação de cimento para a construção civil [ESPIN *et al*, 2005].

### 3.4. Redução de torque e arrasto da coluna

Outro ponto importante a ser ressaltado é a redução do torque e do arrasto, ocasionados devido aos choques entre a coluna de perfuração e as paredes do poço em determinados momentos da perfuração [AL-YASIRI *et al.*, 2015], materiais já são empregados com a objetivo de superar estes problemas, mas o emprego de nanopartículas reduz significamente o atrito entre os tubos e o poço [WASAN&NIKOLOV, 2003] devido o seu potencial de formar um filme lubrificante na parede do poço [ibid].

Quintero *et al* [2014] patentearam uma gama de nanofluidos que são capazes de minimizar o efeito corrosivo nas tubulações durante a perfuração, segundo os autores uma pequena concentração de nanopartículas tem comportamento semelhante à fluidos com alta concentração de polímeros. As nanopartículas mudam a forma de contato na região de modo que a tubulação possa deslizar sobre a superfície sem causar danos severos. Além disso, a adesão do filme de nanopartículas a superfície impede o contato direto da tubulação com a formação reduzindo a força de atrito presente.

Em sua análise Jahns [2014] aplicou diferentes concentrações de nanopartículas em fluidos de perfuração com o objetivo de investigar a redução de fricção e arrastes que estes fluidos poderiam ocasionar. De acordo com Jahns o comportamento do atrito entre as superfícies está relacionado com alguns fatores, tais como: o tamanho, a forma, concentração e a solidez das partículas, as forças atuantes, propriedades do fluido (abrasividade), o tempo de contato entre o fluido e a superfície e a base do fluido (água ou óleo).

Foi feita, então, uma comparação entre um fluido de perfuração a base de água contendo bentonita (argila coloidal) e sais de bário, e um fluido à base de água contendo sais de bário, bentonita e polímero e para cada fluido foi adicionado nanopartículas de sílica, titânio e alumínio. Ao analisar concluiu que o as nanopartículas como aditivos em fluidos de perfuração suavizam o processo de lubrificação, sendo o titânio e a sílica os que apresentaram melhores resultados.

### 3.5. Inchamento das argilas

As formações argilosas sempre foram um problema para a engenharia de poço, devido à alta reação entre fluidos à base de água e estas formações, inchando-as provocando problemas como

instabilidade do poço, o que resulta em colapso do mesmo. Sensory T *et al.*, [2009] propôs uma solução com a adição de nanopartículas de sílica a esses fluidos a base de água utilizados em formações argilosas. Os resultados mostraram que as nanopartículas foram capazes de diminuir a permeabilidade da argila e a invasão de fluidos para dentro da formação, isso ocorreu devido ao pequeno tamanho das partículas que penetravam e selavam os poros da argila.

Sharma *et al.*, [2013] relata experimentos feitos em formações argilosas em Atoka e no golfo do México e a adição de nanopartículas diminuiu a permeabilidade das argilas em um fator de até 50 vezes, assim como a dispersão de nanopartículas reduziu 98% a invasão de fluidos comparado ao fluido utilizado a base de água do mar.

#### 4. CONCLUSÕES

Como visto são inúmeros, os problemas que a nanotecnologia pode solucionar no processo de exploração de petróleo, desde aqueles relacionados à prisão de coluna até os relacionados com o inchamento das argilas e perda de pressão. Sem levar em conta a aplicabilidade das nanopartículas em métodos de recuperação do petróleo, imageamento e varrimento do reservatório.

Como toda indústria bem consolidada, sabe-se que a implementação de novas tecnologias é um processo demorado e possui certo risco, já que tudo que se é novo pode acarretar bons ou maus resultados. Com as aplicações antes descritas não é difícil concluir o quanto a nanotecnologia pode ajudar e eliminar gargalhos na exploração de petróleo, principalmente em condições complexas. O uso destes nanomateriais vem substituir de forma eficaz o uso de métodos tradicionais ineficazes muitas vezes caros e danosos ao meio ambiente.

A nanotecnologia pode ser um aliado a exploração cada vez mais complexa que podem se tornar econômica e tecnicamente viáveis (poços horizontais, poços profundos complexos, altamente desviados etc).

Na comunidade acadêmica é de unanimidade a eficiência da aplicação de nanopartículas em fluidos de perfuração para minimizar a sua perda para a formação, manter a pressão do poço estável de forma a diminuir os riscos de prisão diferencial e todos os outros problemas citados.

Sendo assim, explorar essa tecnologia com o objetivo de minimizar os gargalhos de perfuração atuais é um novo desafio na indústria petrolífera, assim como incentivar mais pesquisas nesta área. A nanotecnologia não se limita apenas a problemas de perfuração, está presente em outras atividades operacionais tais como: recuperação avançada, refino de petróleo, métodos de separação entre outros.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro:

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Interciência, 2004.

Tese/dissertação:

JAHNS, C. *Friction Reduction by using Nano-Fluids in Drilling*. 2014, 113p. Dissertação de Mestrado, Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia de Petróleo e Geofísica Aplicada. Trondheim, Noruega.

Artigo de periódico:

ABDO, J; HANEEF, M. **Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems**. Journal Energy Resour. Technol., 134(1), p.014501, 2012.

AGARWAL, S; PHUOC, X. T; SOONG, Y. et al. **Nanoparticle-stabilized invert emulsion drilling fluids for deep-hole Drilling of oil and gas**. The Canadian Journal Of Chemical Engineering ,V. 91 p.1641- 1649, Oct. 2013.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Estudo prospectivo nanotecnologia / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**. – Brasília: ABDI, 2010. 392 p. (Série Cadernos da indústria ABDI XX).

AL-YASIRI, Mortatha Saadon; AL-SALLAMI, Waleed Tareq . **How the Drilling Fluids Can be Made More Efficient by Using Nanomaterials**. American Journal of Nano Research and Applications. Vol. 3, No. 3, 2015, pp. 41-45. doi: 10.11648/j.nano.20150303.12.

AMANULLAH, M.; ASHRAF M.A.T. **Nano-Technology-Its Significance in Smart fluid Development for Oil and Gas**. Application, Paper SPE 1261102., 2009.

APALEKE, A. S; AL-MAJED, A. A; HOSSAIN, M. E. **Drilling Fluid: State of The Art and Future Trend. In North Africa Technical Conference And Exhibition**. Society of Petroleum Engineers.Cuttings.Offshore Europe, 1991.

BHAWANA, P., FULEKAR, AND M.H. **Nanotechnology: Remediation Technologies to clean up the Environmental pollutants**. Res.J.Chem.Sci, Vol. 2, pp. 90-96, 2012.

FRAUCHES, S. C. et al. **A corrosão e os Agentes Anticorrosivos**, Revista Virtual de Química, v. 6, nº 2, pg. 239-309, 2014.

JIANG L; YUAN L; ZHENG Q. G. **Researches and Applications of Nanometer Bentonite Complex**, Petroleum Drilling Technology. 37: 57-60, 2009.

KASIRALVALAD, Ehsan. **The great potential of nanomaterials in drilling & drilling fluid applications** International Journa. Nano Dimension, p. 1-10,23 Jan 2014.

- KRISHNAMOORTI, Romanan. *Extravting the Benefits of Nanotechnology for the Oil Industry*, Journal of Petroleum Technology, v. 58, nº 11, p. 24-26, nov. 2006.
- MAINIER F. B., ROCHA A. A. H2S: *Novas Rotas De Remoção Química e recuperação De Enxofre*. 2º Congresso Brasileiro De P&D Em Petróleo & Gás, 2003.
- MEEHAN, D. N. *The Impact of Nanotechnology on Oil and Gas Economics* Economist's Corner, 2011.
- OAKLEY, D. J. K. MORTON, A. EUNSON, A. GILMOUR, D. PRITCHARD, A. VALENTINE, *Innovative Drilling Fluid Design and Rigorous Pre-Wall Planning Enable Success in Extreme HTHP Well*. IADC/SPE62729, 2000 IADC/SPE Asia Pac drilling technology, Malaysia, 11–13 Set 2000.
- OAKLEY, D. J., JAMES, S. G., AND CLIFFE, S. *The Influence of Oil-Based Drilling Fluid Chemistry and Physical Properties* In Oil Retained on Cuttings.Offshore Europe, 1991.
- PAIAMAN, A. M.; AL-ANAZI, B. D. *Using Nanoparticles To Decrease Differential Pipe Sticking And Its Feasibility* In Iranian Oil Fields Oil and Gas Business, 2008.
- SAYYADNEJAD M. A; GHAFARIAN H.; SAEIDI M. *Removal of Hydrogen Sulfide by Zinc Oxide Nanoparticles in Drilling Fluid*. Int. J. Environ. Scie. Technol. 5: 565-569, 2008.
- SHAH, S. N; SHANKER, N. H; OGUGBUE, C. C. *Future challenges of drilling fluids and their rheological measurements*. In Aade Fluids Conference And Exhibition, Houston, Texas, 2010.
- TAUGBOL, K. G. FIMREITE, O. I. PREBENSEN, M. I. SWECO, K. SVANES, T. H. OMLAND, P. E. SVELA, D. H. BREIVIK, J.Offshore Technol. 2005, 13, 46.
- UNITED STATES PATENT. Jimenez M. A; Altos S. A., Genolet L. C. *Method for Treating Drilling Fluids Using Nanoparticles*. 5 Set. 2002, 20020123431.
- UNITED STATES PATENT. Quintero L, Cardenas E. A, Clark E. D; *Nanofluids and methods of use for drilling and completion fluids* 2 Set. 2014, US 8822386 B2.
- Referências Digitais:
- NIELMAR DE OLIVEIRA. Petrobras anuncia contratação por afretamento de 12 sondas de perfuração ao custo de US\$ 8 bilhões Disponível em:<  
<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2008-06-04/petrobras-anuncia-contratacao-por-afretamento-de-12-sondas-de-perfuracao-ao-custo-de-us-8-bilhoes>>. Data de acesso. 10/12/2015