

DESCONTAMINAÇÃO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO VIA AQUECIMENTO POR MICROONDAS – INFLUÊNCIA DA ALTURA DO LEITO E DA COMPOSIÇÃO DO FLUIDO DE PERFURAÇÃO.

J. M. SANTOS¹, I. J. PETRI¹, M. M. R. PENA¹, C. H. ATAÍDE¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: chataide@ufu.br

RESUMO – No processo de perfuração de poços de petróleo utiliza-se um fluido para remoção dos fragmentos de rochas gerados durante a operação. O emprego deste fluido, por sua vez, gera uma mistura sólido-líquido que deve ser separada com objetivo de reduzir os custos da operação ao recuperar parte deste fluido aderido aos sólidos. Outro objetivo a ser atingido é o cumprimento da legislação ambiental quanto ao descarte dos resíduos de perfuração, em que o teor de fase orgânica deve ser inferior a 6,9% em massa. O uso de aquecimento por microondas foi identificado como uma técnica inovadora para promover tal separação. O presente trabalho tem como objetivo investigar a secagem dos cascalhos contaminados via aquecimento por microondas e avaliar a influência da altura do leito e composição do fluido de perfuração na redução do teor orgânico aderido aos cascalhos. Os resultados mostraram que maiores alturas de leitos e o teor de umidade no fluido favoreceram o processo de descontaminação.

1. INTRODUÇÃO

A perfuração, após a exploração, é a segunda etapa na busca por petróleo. Os fragmentos da rocha, gerados durante a perfuração, são comumente chamados de cascalho e são removidos continuamente através de um fluido ou lama de perfuração. Esse fluido é, usualmente, injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração e retorna à superfície pelo espaço anular, formado pelas paredes do poço e pela coluna (THOMAS, 2004).

Além de limpar o poço dos cascalhos gerados pela broca e transportá-los até a superfície, o fluido tem papel fundamental na etapa de perfuração e desempenha uma série de funções essenciais, tais como resfriar a broca e lubrificar a coluna, estabilizar as formações rochosas, minimizar o impacto ambiental e auxiliar na sustentação da coluna de perfuração (ASME, 2005). Para desempenhar tantas funções o desenvolvimento do fluido de perfuração é considerado um grande desafio para a indústria de petróleo. Busca-se, atualmente, o ponto ótimo entre custo, performance técnica e cumprimento de legislações ambientais (SCHAFFEL, 2002).

Em cenários de grande profundidade e complexidade é utilizado fluido de perfuração sintético de base não aquosa a fim de garantir o sucesso da perfuração, devido ao seu alto grau de

lubricidade e capacidade de impedir a hidratação de argilas, além de poder ser utilizado em poços de alta temperatura e alta pressão, minimizando o dano à formação e ser resistente a contaminações. Porém há rigorosas restrições ambientais quanto ao descarte dos resíduos e efluentes das atividades de perfuração. A agência de proteção ambiental americana estipulou que o teor orgânico de fluido sintético aderido aos cascalhos descartados em plataformas *offshore* não pode ultrapassar 6,9% em massa e o descarte de cascalhos contaminados com fluido a base de óleo está proibido (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2010).

Com o objetivo de atender aos parâmetros ambientais regulamentares de descarte de resíduos, foi introduzido ao final do sistema de controle de sólidos, o qual tem como objetivo a recuperação do fluido de perfuração, o “secador” de cascalho, que é na verdade uma centrífuga filtrante vertical (PETROBRAS, 2011). Porém riscos operacionais ligados a esse equipamento, e o fato do teor de fluido de perfuração residual alcançado estar muito próximo do limite ambiental, levam a busca por tecnologias alternativas. Com isso, observa-se um crescente interesse em reduzir o teor da fase orgânica do cascalho proveniente da perfuração de poços, empregando outros equipamentos (PEREIRA, 2013).

A secagem industrial por microondas vem sendo desenvolvida ao longo dos últimos anos e se mostra uma alternativa inovadora para a descontaminação de cascalhos de perfuração. Neste processo os hidrocarbonetos não são aquecidos diretamente por serem essencialmente transparentes em frequências de microondas, mas por outro lado a água presente nos poros e na superfície dos sólidos de perfuração é aquecida e convertida em vapor que escapa fisicamente dos sólidos e arrasta os hidrocarbonetos. Dessa forma, economias significativas de energia são alcançadas por não ser necessário aquecer todo o material (ROBINSON, 2010).

Portanto este trabalho tem como objetivo estudar uma nova tecnologia de secagem de cascalhos de perfuração que seja mais eficiente e segura e verificar como a altura do leito e composição do fluido de perfuração influenciam na remoção da fase não aquosa do cascalho contaminado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais empregados no presente estudo consistem em cascalho seco e fluido de perfuração sintético a base de n-parafina provenientes da central de cascalho da Petrobras, situada no município de Carmópolis – SE.

A unidade experimental está ilustrada na Figura 1, e é composta pela cavidade do forno (1) de dimensões 100 x 60 x 35 cm (C x L x A) equipada com 6 fontes de microondas com capacidade individual de 1 kW (2), operando a 2,45 GHz, e conta com balança (3) com capacidade de 600 kg e precisão de 0,05kg, banho termostatizado (4), condensador (5), sistema de exaustão (6), painel de controle (7), sistema de aquisição de dados (8) e sensor de temperatura do tipo PT100 (9).

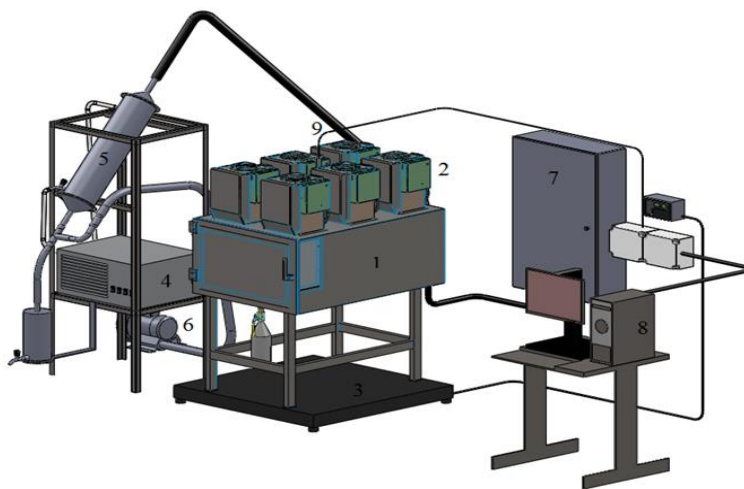


Figura 1 – Unidade Experimental

O método de retorta foi aplicado para medir o teor de n-parafina e água no cascalho, antes e após a secagem. Para isso, foi utilizada retorta Fann de 50 mL. Esse procedimento consiste basicamente em aquecer certa quantidade de cascalho contaminado até que todo fluido seja evaporado. Os vapores são condensados em uma proveta e a concentração foi determinada segundo o procedimento recomendado pelo *American Petroleum Institute* (2005).

2.1. Efeito da altura do leito

A altura do leito está ligada à eficiência do processo de secagem, uma vez que a absorção de energia eletromagnética depende, entre outros fatores, da altura do material a ser aquecido (ROBINSON *et al.*, 2010).

Para verificar como a altura do leito afeta a descontaminação do cascalho de perfuração, foram realizados ensaios de secagem com diferentes níveis de acomodação do material alimentado ao forno: 2, 4 e 6 cm. Nestes ensaios o material apresentou contaminação inicial de 20% de fluido, sendo 11,4% de n-parafina e 8,6% de água, aplicou-se 6 kW de potência, tempo médio de operação de 55 min, energia específica igual a 1 kWh/kg e a temperatura dos vapores no interior da cavidade foi mantida em 120 °C.

2.2. Efeito da composição do fluido de perfuração

A formulação do fluido depende diretamente das propriedades do poço a ser perfurado. Uma variedade imensa de aditivos é utilizada para garantir ao fluido as propriedades necessárias para que a perfuração ocorra de forma controlada, segura e o mais rápido possível. Deste modo, fluidos com diferentes composições podem ser utilizados a depender do estágio da perfuração.

A fim de verificar se a composição do fluido de perfuração influencia na secagem do cascalho, ensaios foram realizados a partir de fluidos com diferentes proporções de fase orgânica e água. Para tal, adicionou-se água deionizada ao fluido utilizado nos demais ensaios deste

trabalho, de modo a se obter as seguintes razões entre n-parafina e água: 60/40, 50/50 e 40/60. Estes novos fluidos foram submetidos à vigorosa agitação para que a emulsão se restabelecesse.

O ajuste da contaminação do cascalho utilizado nos ensaios foi realizado em função do teor inicial de n-parafina, fixado em 10%. O teor inicial de água variou de acordo com a composição do fluido utilizado, sendo igual a 6,1% (fluido 60/40), 8,7% (fluido 50/50) e 12,8% (fluido 40/60). Além do teor inicial de n-parafina, as demais condições de operação também foram mantidas constantes em todos os testes: massa (6 kg), potência aplicada (6 kW), tempo de aquecimento (1 h) e energia específica (0,6 kWh/kg). Foram executadas 2 réplicas de cada ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito da altura do leito

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios que visaram avaliar o efeito da altura do leito no processo de remediação do cascalho de perfuração via aquecimento por microondas.

Tabela 1 - Influência da altura do leito na descontaminação do cascalho de perfuração.

Altura do leito (cm)	N-parafina residual (%)	Água residual (%)	Remoção de n- parafina (%)	Remoção de fluido (%)
2	3,45 ± 0,17	1,42 ± 0,02	69,96 ± 1,50	75,61 ± 0,80
4	2,71 ± 0,04	1,18 ± 0,11	76,46 ± 0,37	80,57 ± 0,48
6	1,45 ± 0,15	1,06 ± 0,07	87,36 ± 1,32	87,41 ± 1,10

Nas condições estudadas, maiores alturas de leito proporcionaram maiores percentuais de remoção de n-parafina, e consequentemente, maiores percentuais de remoção de fluido em relação ao material disposto em leitos verticalmente menores.

Quando a alimentação foi acomodada de modo a constituir leitos com apenas 2 cm de altura, aproximadamente 70% da n-parafina presente foi removida. Já quando o material alimentado ao forno foi disposto em camadas de 6 cm de altura, a remoção da fase orgânica atingiu aproximadamente 87%.

Analisando as curvas de aquecimento do material durante um ensaio de secagem, apresentadas na Figura 2, foi possível notar a diferença com que o aumento de temperatura se dá em cada leito, principalmente no início da secagem, quando a água está sendo essencialmente evaporada. Observou-se, nos primeiros quinze minutos de teste, que a taxa de aquecimento aumenta à medida que a altura do leito diminui. Este fato deve estar relacionado com quantidade de material presente no leito disponível para absorver a energia fornecida ao sistema.

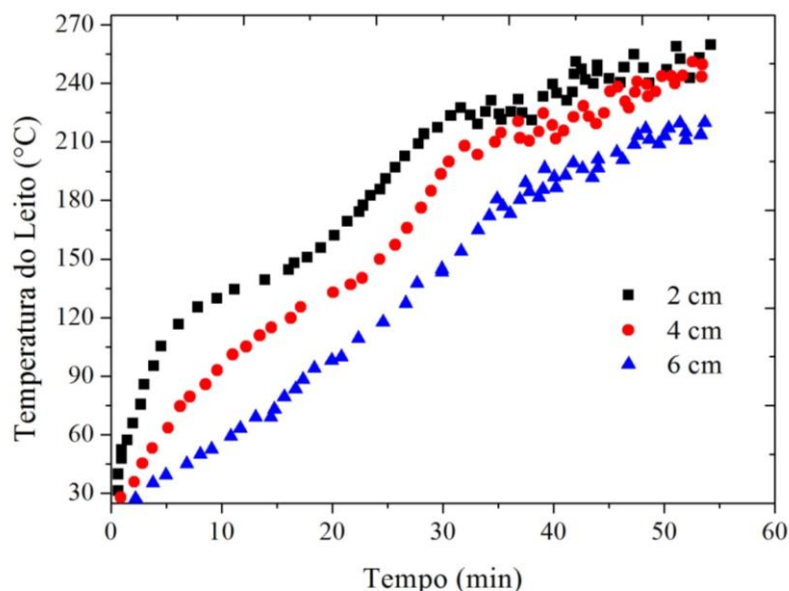


Figura 2 - Curvas de aquecimento do material disposto em leitos com alturas diferentes.

Resultados apresentados por Pereira (2013) mostraram que menores taxas de aquecimento são responsáveis por maiores níveis de remoção da fase orgânica. Isto pode ser explicado pelo fato de que em um aquecimento lento, a água livre permanece mais tempo em contato com a n-parafina e, portanto, a suposta transferência de energia de um material para o outro é maior.

Desta forma, houve maior remoção da fase orgânica aderida ao cascalho de perfuração nos ensaios em que foram utilizadas maiores alturas de leito devido aos menores gradientes de temperatura ao longo do tempo.

É importante salientar, que não se deve aumentar a altura do leito indefinidamente. Apesar de proporcionar menores taxas de aquecimento e consequentemente, melhorar o processo de descontaminação do cascalho, a altura do leito afeta, evidentemente, a profundidade de penetração das microondas no material. Ao ultrapassar esse limite, a secagem se daria apenas na superfície do material.

A introdução de um mecanismo que promova a agitação do leito durante a secagem por micro-ondas se apresenta como alternativa para minimizar o efeito negativo que grandes alturas de leito possam acarretar no modo como as microondas são absorvidas pelo material. Esta movimentação deverá proporcionar ao material um aquecimento mais uniforme, melhorando assim a eficiência na descontaminação do cascalho de perfuração.

3.2. Efeito da composição do fluido de perfuração

Para avaliar a influência da composição do fluido de perfuração na descontaminação do cascalho de perfuração via aquecimento por microondas, foram realizados ensaios utilizando cascalho contaminado com fluidos de diferentes razões n-parafina/água. É importante salientar,

que as composições do fluido utilizadas neste trabalho, correspondem a composições encontradas nos fluidos utilizados nas diversas fases da perfuração de poços de petróleo e gás. As respostas obtidas estão apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Respostas obtidas nos ensaios com fluidos de diferentes razões n-parafina/água.

Respostas (%)	Fluido 60/40	Fluido 50/50	Fluido 40/60
Fluido residual	5,90 ± 0,36	4,93 ± 0,15	4,17 ± 0,13
Remoção de fluido	65,14 ± 0,46	73,91 ± 0,04	79,90 ± 0,63
Remoção de n-parafina	54,37 ± 0,69	65,79 ± 0,03	71,56 ± 0,54

Nota-se que à medida que a concentração de água no fluido de perfuração aumenta, melhor é a descontaminação do cascalho. O percentual de remoção de n-parafina no ensaio que utilizou cascalho contaminado com fluido contendo 60% de n-parafina e 40% de água em massa, desconsiderando os aditivos, foi em torno de 54%, em média. Igualando estas proporções, isto é, 50% de água e 50% de n-parafina, aproximadamente 66% da fase orgânica presente na alimentação foi removida. Já quando utilizado fluido em que a razão n-parafina/água foi igual a 40/60, ou seja, havia mais água que n-parafina no fluido, o percentual médio de remoção de n-parafina foi de aproximadamente 71%.

Quando se observa os valores médios referentes ao teor residual de n-parafina e ao teor residual de água no cascalho seco (Figura 3), nota-se que não houve diferença significativa na quantidade remanescente de água entre os ensaios. Este valor foi de 1,5% em média. Já o teor residual de n-parafina foi reduzido à medida que a razão n-parafina/água diminuía.

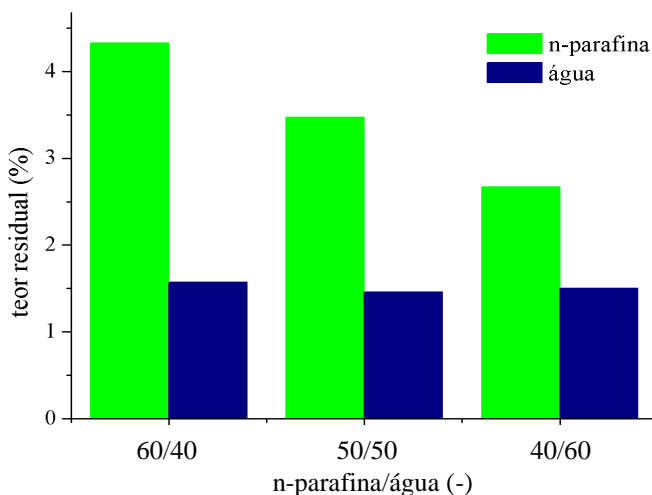


Figura 3 - Teor residual médio de n-parafina e água no cascalho contaminado com fluidos de diferentes razões n-parafina/água.

Estes resultados vão ao encontro da teoria defendida por Robinson *et al.* (2010), que afirmaram ser a água o veículo de remoção da n-parafina, removida por arraste e com os resultados apresentados por Shang (2006). De acordo com o trabalho deste autor, quanto maior for a umidade do material submetido à secagem por microondas, maior será a remoção da fase orgânica. Sendo que o termo umidade se refere à porcentagem de água aderida aos detritos de perfuração e não a contaminação por fluido.

Esta melhor descontaminação se deve ao fato de ser a água o componente mais dielétrico presente na mistura cascalho/fluido. A água presente nos poros e na superfície dos sólidos de perfuração é aquecida e convertida em vapor, esse vapor escapa fisicamente dos cascalhos e arrasta os hidrocarbonetos, essencialmente transparentes às microondas (ROBINSON *et al.*, 2010).

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de secagem e apresentados neste trabalho, nas condições estudadas, foi possível obter as seguintes conclusões:

- ✓ O cascalho submetido à secagem por microondas alcança teores de n-parafina residual que se enquadram na legislação ambiental e inferiores aos alcançados pela tecnologia atualmente utilizada, na qual o teor orgânico aderido aos sólidos se encontra acima de 6%.
- ✓ A taxa de aquecimento do material está intimamente ligada à eficiência do processo. Menores taxas de aquecimento são responsáveis por maiores níveis de remoção de n-parafina por proporcionar maior tempo de contato da fase orgânica com a água, componente mais dielétrico da mistura.
- ✓ A água é o veículo de remoção da n-parafina, removida por arraste. Quanto maior for a umidade do material submetido à secagem por microondas, maior será a remoção da fase orgânica.
- ✓ O aumento da altura do leito proporciona menores taxas de aquecimento do material e consequentemente, menores teores residuais de fluido são observados. Porém o aumento indiscriminado do nível do cascalho alimentado ao forno pode afetar a profundidade de penetração das microondas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended Practice for Field Testing of Oil-based Drilling Fluids. Recommended Practice 13B-2. Washington, 2005.
- ASME. Drilling Fluids Processing Handbook. Estados Unidos: Elsevier, 2005.

- PEREIRA, M. S. *Aplicação de Secagem por Microondas no tratamento de cascalho de perfuração*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- PETROBRAS. Manual de Fluidos. 1. ed. Rio de Janeiro, 2011.
- ROBINSON, J. P., KINGMAN, S. W., SNAPE, C. E., BRADSHAW, S. M., BRADLEY, M. S. A., SHANG, H., BARRANCO, R. Scale-up and design of a continuous microwave treatment system for the processing of oil-contaminated drill cuttings. *Chemical Engineering Research and Design*, 88 (2), 146-154, 2010.
- SCHAFFEL, S. B. *A questão Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- SHANG, H., SNAPE, C. E., KINGMAN, S. W., ROBINSON, J. P. Microwave treatment of oil-contaminated North Sea drill cuttings in a high power multimode cavity. *Separation and purification technology*, 49(1), 84-90, 2006.
- THOMAS, J. E., *Fundamentos de Engenharia do Petróleo*. 2^a ed., Rio de Janeiro, 2004.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Statistical Analyses Supporting Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for Synthetic-Based Drilling Fluids and other Non-Aqueous Drilling Fluids in the Oil and Gas Extraction Point Source Category. 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da CAPES (bolsa de mestrado e doutorado), FAPEMIG (bolsa de Iniciação Científica), PETROBRAS e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos concedidos no Projeto de Participação Coletiva em Eventos Técnicos-Científicos (PCE-00082-14).