



Comparação da eficiência entre uma fritadeira e um micro-ondas para secagem do cascalho da perfuração de petróleo, visando ao descarte ambiental sustentável

Recebido: 18 mar. 2022

Aprovado: 03 ago. 2022

Versão do autor aceita publicada online: 03 ago. 2022.

Publicado online: 12 ago. 2022

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Oliveira, F. T. P., & Vieira, M. M. (abr./jun. 2024). Comparação da eficiência entre uma fritadeira e um micro-ondas para secagem do cascalho da perfuração de petróleo, visando ao descarte ambiental sustentável. *Exacta*, 22(2), p. 587-614.

<https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21839>

Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto



Dados Crossmark



Comparação da eficiência entre uma fritadeira e um micro-ondas para secagem do cascalho da perfuração de petróleo, visando ao descarte ambiental sustentável



Franklin Tertuliano Pereira de Oliveira e Marcela Marques Vieira¹

¹ Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nota dos autores

Autores declaram que não há conflito de interesses.

Resumo

O descarte do cascalho de perfuração (base parafina) no último equipamento do processo de controle de sólidos, em uma perfuração de poços de petróleo, tem uma saída úmida, que necessita ser seca para o transporte e descarte, através de um mecanismo ambientalmente sustentável. O objetivo deste trabalho é comparar a eficiência da secagem de cascalho de perfuração de petróleo com a base água e a base parafina, em um micro-ondas e uma fritadeira **elétrica**, utilizando como parâmetros: tempo, temperatura, potência e fator energético.

Palavras-chave: produção, petróleo, sustentabilidade

Abstract

The disposal of drilling gravel (paraffin base) in the last equipment of the solids control process, in an oil well drilling, has a wet exit, which needs to be dry for transport and disposal, through an environmentally sustainable mechanism. The objective of this work is to compare the efficiency of drying oil drilling gravel with water and paraffin base, in a microwave and an electric fryer, using as parameters: time, temperature, power and energy factor.

Keywords: production, oil, sustainability

Introdução

A geração de resíduos sólidos no Brasil e no mundo amplia e diversifica os resíduos com consequência nos centros urbanos (FONSECA, 2013). Com o aumento populacional e econômico, em um mundo globalizado, os estilos de vida das pessoas necessitam da industrialização que, por sua vez, depende da matéria-prima, em consequência disso há geração de mais resíduos sólidos no meio ambiente (MOURA, 2020). Neste contexto, a sustentabilidade ambiental é imprescindível, não somente para as empresas, mas como para o mundo, sendo necessário um gerenciamento eficiente e controle para minimizar os impactos ao meio ambiente. Ademais, é importante que todos estejam inseridos no programa de certificação de qualidade ambiental, ISO 14000, que se tornou um selo necessário a qualquer corporação mundial (ROMANI; CARLO, 2010).



A produção de petróleo, crescente em todo o mundo, tanto *onshore* quanto *offshore*, inclui várias atividades que geram poluentes em grandes quantidades no meio ambiente. No caso da perfuração, estes resíduos podem chegar as áreas urbanas e causar danos ambientais e sociais. O cascalho produzido na perfuração de petróleo, em todas as fases, polui o meio ambiente se não for tratado conforme o Decreto nº 8.973 (IBAMA, 2017). Nesse caso, a remoção da umidade, a partir da secagem do cascalho de perfuração, é fundamental para um descarte ambientalmente correto, com a redução de componentes incorporados no cascalho e eliminação do derramamento nas estradas para um descarte adequado.

Observa-se que, em todo cascalho produzido na perfuração de petróleo, é realizado o controle de resíduos contaminados com fluido de perfuração de petróleo, na própria operação, com vários equipamentos envolvidos nesse objetivo. São eles: Peneiras Vibratórias, Desareizador, Dessiltador, Mud Cleaner, Centrífuga Decantadora, Desgaseificador, Secador de Cascalhos (DARLEY; CAENN; GRAY, 2017). Mesmo com todos esses equipamentos, o cascalho ainda sai muito úmido para descarte. Como o transporte na perfuração *onshore* é terrestre, quando a umidade do cascalho está alta, caso o mesmo seja derramado, nas estradas, pode haver contaminação do meio ambiente. No descarte *offshore*, com destino final o mar, em caso de concentração de óleo no cascalho, corre-se o risco de sufocamento dos corais e poluição da região. Portanto, quanto maior a remoção de óleo que contamina o cascalho, através da secagem desse fluido, menor será a poluição no mar, com a redução de produtos químicos incorporados no fluido. Nos processos produtivos, que tenham um menor impacto ambiental, é necessário o desenvolvimento de tecnologias limpas (FIOCRUZ, 2011).

Sobre as condições para descarte de cascalho, fluidos de perfuração e complementares de base aquosa, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) estabelece que será permitido o descarte de todo cascalho de poço, se não for detectado a presença de óleo livre na amostra, antes do descarte. No descarte de cascalho com fluidos de perfuração de base não aquosa aderido, é realizada uma retorta da amostra do cascalho para saber a quantidade

de óleo na mesma, no resultado final. O cascalho descartado não deverá exceder o limite de 6,9% (média acumulada por poço), no caso de n-parafinas (IBAMA, 2017).

Na perfuração de petróleo consiste em atividades exploratórias que continuam agredindo ao meio ambiente e gerando riscos no sistema de tratamento e descarte, a geração deste cascalho contaminado é um dos fatores deste problema, que sempre desafia a exploração de petróleo e gás com a concepção e evolução de novas tecnologias. É uma atividade que atinge diretamente ao meio ambiente, com o aumento da perfuração na exploração porque maior será a quantidade de cascalho gerado e depositado no fundo do mar ou em aterros sanitários, o objetivo é minimizar os impactos gerados por essas atividades (MENESES et al., 2015; MARTINS et al., 2015).

No atual cenário os fluidos aquosos e não aquosos são os mais utilizados na perfuração de petróleo. A função da diversidade de tecnologias é fundamental para resolver os problemas do tratamento e destinação do cascalho de perfuração *onshore* e *offshore*, definindo todas as alternativas de melhoramento contínuo desse processo de descontaminação ou com descarte zero, é importante o conhecimento das técnicas e a composição dos fluidos com os resíduos sólidos, conhecer todos os riscos ambientais e poder solucioná-los (IBP, 2021).

Diante disso, o presente artigo visa comparar a secagem de cascalho de perfuração de petróleo, em um forno de micro-ondas e em uma fritadeira elétrica, com intuito de identificar qual é o mais eficiente para ser alocado no processo de produção final do controle de sólidos, em uma perfuração *onshore* e *offshore*. Os fluidos que contaminaram o cascalho analisado são base água e base parafina. As tecnologias dos equipamentos são dos próprios fabricantes.

Metodologia

Toda a metodologia foi escolhida conforme o ponto de fulgor do cascalho contaminado com fluido base parafina (não aquoso), não passando dos 200 °C nos equipamentos dos experimentos (PORTANTIOLO, CLAUDIA S. et al., 2015). Na realização de um pré teste com os equipamentos no monitoramento de temperatura foi definido o tempo que as amostras permaneceriam dentro dos equipamentos para realizar seu monitoramento e controle de todos os parâmetros que foram



analisados. Essa metodologia é necessária para analisar através da secagem, o fator energético da eficiência dos equipamentos. Com micro-ondas já existem alguns trabalhos relacionados, mas com a fritadeira elétrica não havia sido realizado secagem de cascalho de perfuração, através desta metodologia e deste trabalho poderá surgir novas tecnologias focadas na secagem de descontaminação do cascalho de perfuração.

Todos os testes de secagem foram realizados em duas unidades experimentais: um micro-ondas e uma fritadeira elétrica. As unidades experimentais utilizadas na pesquisa foram adaptadas para a secagem de cascalho, onde foram analisadas a eficiência e as variáveis de tempo, temperatura na amostra, temperatura interna, secagem das amostras e fator energético do comportamento entre os equipamentos.

As empresas fabricantes do forno de micro-ondas da marca Consul e da fritadeira elétrica da marca Mallory são detentoras da tecnologia e não foi alterado do seu funcionamento. A unidade experimental da marca Consul, modelo CMM25ABBNA, apresenta as seguintes características: tensão de 220v, frequência de 60 HZ, corrente de 8 A, potência 1.2 KW, capacidade de 18 L. A frequência de operação do micro-ondas é de 2450 MHz, correspondendo à frequência de vibração das moléculas de água. O micro-ondas possui 6 níveis de potência pelo fabricante, variando entre 120 W e 700 W. A unidade experimental da marca Mallory, modelo Wellness Fry B97200162, apresenta as seguintes características: tensão de 220v, frequência de 60 HZ, corrente de 8 A e potência de 1.500 W, tendo sido fabricado na China 44283AB00560. Possui, igualmente, controle de temperatura (80-200°C) e temporizador (0-30 min).

Vale ressaltar, que toda estrutura dos equipamentos foi fabricada pelas empresas que os fabricaram. Nas unidades experimentais, foram efetuadas pequenas adaptações, para verificar a temperatura, consumo de energia e eficiência da secagem dos cascalhos nos equipamentos.

Métodos para caracterização dos materiais

Os materiais empregados no presente estudo consistem em duas amostras de cascalho contaminados com fluidos de perfuração base parafina e base água. As amostras foram fornecidas

pela PETROBRAS e foram obtidas no *Campo de Miranga*, localizado no compartimento central da Bacia do Recôncavo, sob supervisão da Unidade de Exploração e Produção da Bahia.

O cascalho foi coletado em uma sonda de perfuração *onshore*, a partir de seus equipamentos de controle de sólidos, tendo sido, posteriormente, transportado em dois recipientes de 20 L para realização dos experimentos. Os cascalhos utilizados foram:

- Do Secador de Cascalho: sólidos 87,88%, água 6,13 %, óleo 5,98 %.
- Da Centrifuga do secador de cascalho: sólidos 79,90 %, água 8,82%, óleo 11,27%.

Para obtenção dos valores que se encontram acima, foi realizada uma retorta dos cascalhos, na saída dos equipamentos. A retorta utilizada foi a Fann de 50 ml, na qual a amostra é aquecida até que os componentes líquidos sejam evaporados. Os vapores passam através de um condensador e são coletados em uma proveta ou tubo de ensaio.

Cascalho de perfuração

Sabemos que, na perfuração de petróleo, são atravessadas várias formações contendo arenito, calcário, argilito, folhelho, entre outras rochas. No ambiente de coleta desse material, foi separado o cascalho de saída do secador de cascalho e centrifuga do mesmo, em profundidades diferentes. Foram coletados 300 kg de cascalho de perfuração de cada equipamento de controle de sólidos na sonda, os quais foram homogeneizados e separados, 15 kg do secador e 15 kg da centrífuga, de amostra de cada equipamento. O cascalho é contaminado com fluido base parafina, mas, como a amostra obtida do secador de cascalho apresenta baixa concentração de parafina (5,98 % no cascalho), a mesma foi aproveitada para os experimentos com o cascalho base água.

Metodologia Experimental

No preparo da amostra para ser introduzida, em um recipiente vidro com dimensões 20 x 20 x 6 cm, foi realizada uma mistura do material para ficar homogêneo, devido ao tempo de armazenamento. Em seguida, retirou-se a tara do recipiente com 366g na balança e inseridos 500g de material. Todos os experimentos foram monitorados minuto a minuto.



Devemos ressaltar que, na indústria de petróleo, é muito restrito o acesso a este tipo de material. Neste sentido, para fazer os experimentos com fluidos base água, foi adicionada uma porcentagem de água no cascalho da saída do secador. Na retorta realizada pela PETROBRAS nos dois equipamentos, secador e centrífuga, observamos que o secador é o equipamento que tem um descarte com menor teor de óleo (5,98 %). O problema é com a umidade do descarte da centrífuga, pois, a retorta deste cascalho tem 11,27% de óleo, 8,82% de água e 79,90% de sólidos. Contudo, devido a essa análise, foi realizada a soma de porcentagem de água e óleo do cascalho da centrífuga, equipamento que tem maior umidade do cascalho no descarte. Quanto ao cascalho do secador, que tem menor teor de óleo no descarte na amostra, foram adicionados 20,09% de água na amostra, equivalentes a 105ml, nos quais foram misturados com 395g de cascalho, ficando homogêneo com 500g. As amostras de cascalho com fluido base parafina e base água foram, então, inseridas no forno de micro-ondas e na fritadeira elétrica.

Neste contexto, primeiramente, foi realizado o experimento no forno de micro-ondas, utilizando o cascalho contaminado com fluido base parafina. Em seguida, foram realizados 3 experimentos com a variação da potência do forno e monitoramento da temperatura para não passar do seu ponto de fulgor. Foi realizado um pré-teste antes dos experimentos para saber até quantos minutos a amostra poderia ficar no forno com temperatura até aos 200 °C. Portanto, foram realizados experimentos com potência alta, em 6 min, média, com 10 min e baixa, com 15 min. Como o forno de micro-ondas tem variação de potência e a fritadeira não varia, foi escolhido realizar o experimento, primeiramente, nesse equipamento, para tomar como base os demais. Após os 3 experimentos com cascalho base parafina, foram realizados três com o cascalho base água.

Nos experimentos com a fritadeira elétrica, foram introduzidos 3 recipientes com cascalho base parafina e base água, com temperatura de 200 °C, variando o tempo de cada experimento em uma potência única de 1500 W. Segundo o manual do fabricante, o usuário pode fazer um preaquecimento do aparelho com 5 min, a 200 °C, antes de inserir o produto na secagem. Foi seguido esse procedimento. Os experimentos para secagem foram com 6,10, e 15 minutos.

Após os testes iniciais, foram observados alguns fatores e definidos os parâmetros dos testes de eficiência dos equipamentos. No forno de micro-ondas, a eficiência total testada foi de 30 minutos, em potência alta com cascalho base água, mas não foi possível com cascalho base parafina por causa do seu aquecimento que passa do ponto de fulgor. Neste sentido, experimentos iniciais com 6 min, em potência alta, foi observado essa restrição. Na fritadeira, foi efetuado o teste com amostras de cascalho base parafina e base água.

Diante disso, vemos que, nos dois aparelhos, foram verificadas as temperaturas com um termômetro dentro do recipiente da amostra e um dentro do ambiente de secagem. Foi utilizado um Wattímetro digital Intertek, com medidor de energia Bivolt. Segundo o ranking de tarifas residenciais da ANEEL (2021), a média da tarifa é de 0.610 R\$/kWh na região nordeste. Foi utilizada, no experimento, a tarifa 0.61 com arredondamento no Wattímetro.

Teste no forno de micro-ondas com cascalho base parafina e água

Na montagem da unidade experimental, foram realizadas algumas adaptações, como orifícios para entrada do termômetro inserido na amostra e que monitora a temperatura interna do forno. Montou-se um cooler, na área externa superior do forno, para ajudar no resfriamento do mesmo, pois como verificado no pré-teste, a parafina aquece com a temperatura. O próprio forno de micro-ondas tem um cooler interno para não super aquecer e queimar seus componentes elétricos. Neste equipamento, o tempo de aquecimento vai de 0 a 30min.

Para que o termômetro ficasse dentro da amostra tivemos que inserir um recipiente de vidro como apoio, com medidas 20 x 20 x 6 cm.

No primeiro teste, utilizamos 500g de cascalho base parafina e monitoramos o tempo e a temperatura máxima, a fim de sabermos em quanto tempo e em qual temperatura atingiríamos o ponto de fulgor da parafina. Chegamos à conclusão de que, em 6min, com potência de 600 W e com temperatura de 188 °C, atingimos esse ponto, não podendo os próximos experimentos, portanto, ultrapassar esse tempo e essa temperatura. No segundo teste, utilizamos cascalho base parafina com potência média de 460 W, em 10 minutos. No terceiro teste, utilizamos cascalho base parafina



com potência baixa de 340 W por 15 minutos. Esses parâmetros foram adotados porque o micro-ondas tem potência baixa, média, alta e máxima, mas só foram utilizados as três primeiras com variação de potência e tempo.

Os três testes com cascalho base água, no forno de micro-ondas, foram realizados com os mesmos procedimentos adotados para o cascalho base parafina. No teste final, utilizamos a capacidade total do forno, em potência alta, no tempo máximo de 30 min. No início do experimento, verificamos a pesagem e, ao final dos 30min, realizamos outra pesagem, a fim de verificarmos a diferença da umidade após o teste.

Teste na fritadeira elétrica com cascalho base parafina e água

Na unidade experimental, foram realizadas adaptações parecidas com a do forno de micro-ondas, como orifícios para que o termômetro pudesse ficar dentro da amostra e o outro pudesse ficar na área interna de aquecimento da fritadeira, além de ser inserido um cooler de 12v, na área externa lateral. Na fritadeira, não existe cooler interno para resfriamento, porém há uma saída de vapores onde instalamos um cooler, no caso de um super aquecimento indesejado que possivelmente viesse a danificar o equipamento experimental.

Realizaram-se três primeiros testes com cascalho base parafina seguidos de três testes com cascalho base água. A fritadeira possui uma potência única de 1500 W, podendo sua temperatura variar de 80 °C a 200 °C. Os testes foram realizados sob uma temperatura de 200 °C, devido ao ponto de fulgor da parafina. Neste equipamento, o tempo também vai de 0 a 30 minutos. Nos testes, seguiu-se o mesmo intervalo de tempo utilizado no forno micro-ondas, isto é, 6, 10 e 15 minutos, com a diferença de que antes de colocar a amostra na fritadeira, realizou-se um pré-aquecimento de 5 min, conforme sugestão do fabricante do equipamento. No teste final utilizou-se a capacidade total da fritadeira, em potência alta, ao longo de 30 minutos. Verificamos que todo o procedimento de pesagem inicial e final foi igual para todos os testes.

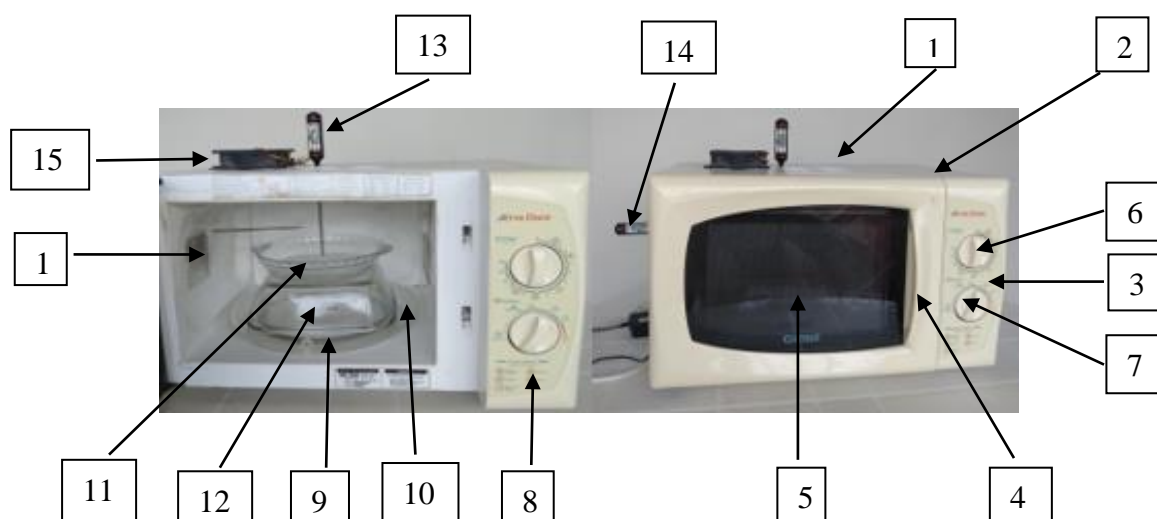
Unidade experimental micro-ondas

A unidade experimental é da marca Consul, modelo CMM25ABBNA, peso líquido 13,4kg, tensão 220v, frequência de 60 HZ, corrente de 8 A, potência 1.2 KW, capacidade de 18 L. A frequência de operação do forno é de 2450 MHz, correspondendo à frequência de vibração das moléculas de água.

O forno de micro-ondas possui 6 níveis de potência, segundo o fabricante, variando entre 120W a 700 W conforme constatamos na figura 1.

Figura 1

Unidade Experimental forno de micro-ondas



Fonte: Elaborado pelos autores

Componentes:

- Saídas de ar (1), Gabinete (2), painel de controle (3), puxador de porta (4), Visor de porta (5), seletor de tempo (6), seletor de potência (7), menu fácil (8), suporte do prato giratório (9), prato giratório (10).

Componentes introduzido no micro-ondas:

- Recipiente de amostra (11), Recipiente de apoio (12), Termômetro na amostra (13), Termômetro interno (14), Cooler (15) e wattímetro.

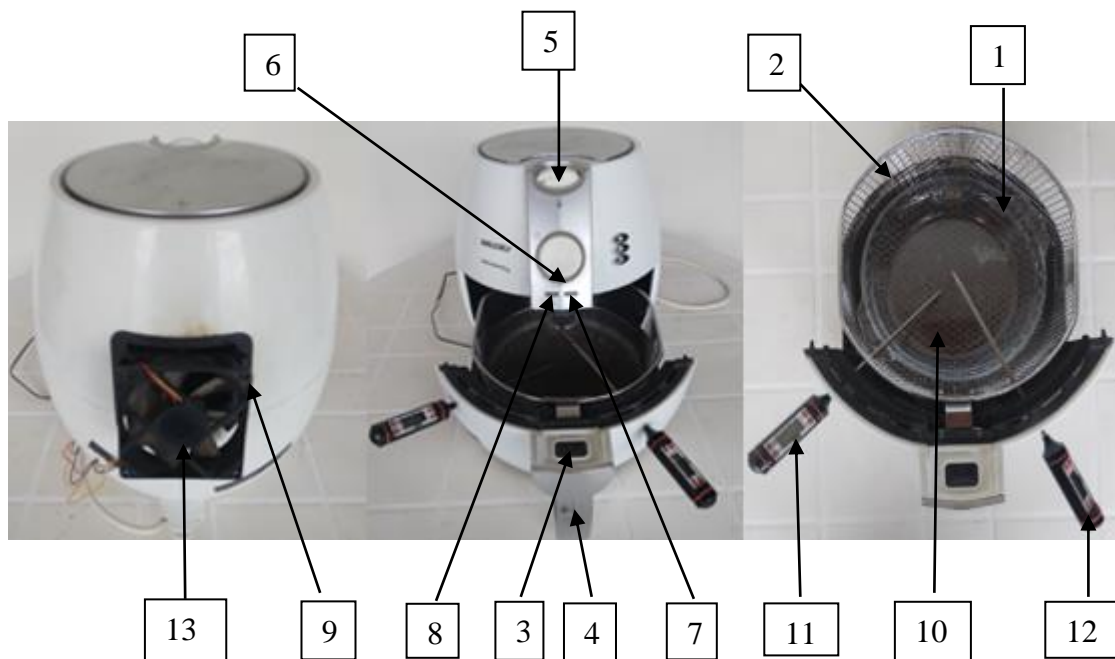
O volume da cavidade do forno micro-ondas é de 18 L, com dimensões interna de 28 cm, 20 cm, 29 cm (comprimento x altura x profundidade). As dimensões externas do forno são 45.8 cm, 29.5 cm, 34 cm (externo). O acionamento do forno é manual, variando a potência aplicada entre 120 W e 700 W, com variação do tempo entre 0 a 30 min.

Unidade experimental fritadeira

A unidade experimental é da marca Mallory (Figura 2), modelo Wellness Fry B97200162, tensão 220v, frequência de 60 HZ, corrente de 8 A, potência 1.500 w, fabricado na China 44283AB00560, com controle de temperatura (80-200 °C) e temporizador (0-30 min).

Figura 2

Fritadeira elétrica sem óleo Wellness Fry – Mallory, com as adaptações



Fonte: Elaborado pelos autores

A fritadeira pesa 6 kg com dimensões Tamanho: 38 X 32 X 33,5 cm, capacidade 3,2 L

Componentes:

- Cuba (1), cesta em aço inoxidável (2), botão para liberar a cesta (3), cabo de cesta (4), Controle de temperatura (80 – 200°C) – (5), Temporizador (0 – 30 min) – (6), luz indicadora de aquecimento (7), luz piloto de funcionamento (8) e filtro (9).

Componentes introduzido na fritadeira:

- Recipiente da amostra (10), termômetro na amostra (11), termômetro interno (12), cooler (13) e wattímetro.

Instrumentos auxiliares

Os instrumentos auxiliares adotados nos experimentos foram os seguintes:

- Recipiente Arredondado: recipiente de vidro temperado com capacidade de 600 ml, 20,2 cm x 17,9 cm x 3,9 cm, onde inserimos a amostra.
- Balança: Balança SF-400 de Precisão Eletrônica de 1 Grama a 10 kg, escala em “g” e “oz”, com dimensões 16 x 11 x 2 centímetros (C x L x A).
- Termômetro: utilizando quatro termômetros com faixa de temperatura de -50 °C a 300 °C, sonda em aço inox, precisão de 1% ou 1 °C, tempo de resposta com < 0,8 segundos. A temperatura interna do forno e da amostra, são medidas pelo termômetro Knup, modelo kp-8007, acionamento manual e controlado pelo visor digital.
- Wattímetro Digital: instrumento de leitura de que foi instalado nos equipamentos para detectar os parâmetros elétricos. Esse instrumento foi utilizado nos testes do micro-ondas e da fritadeira.
- Ventilador Cooler Fan Universal: auxilia no resfriamento do equipamento Air Fryer e micro-ondas com as medidas, 80mm 12v dx-8c dex.

Resultados e discussões

Testes com micro-ondas

No primeiro experimento desta pesquisa, utilizou-se cascalho base água e base parafina. No primeiro experimento com forno micro-ondas utilizando fluido base água, verificamos as seguintes



temperaturas iniciais da amostra: 33 °C, 34 °C e 33 °C e as temperaturas finais foram 96 °C, 97 °C e 87 °C. Nesse panorama, as temperaturas internas iniciais são as mesmas, entretanto as finais configuram-se distintas, 73 °C, 60 °C e 57 °C. Todos os testes foram realizados com sequência de 6 min (potência alta), 10 min (potência média) e 15 min (potência baixa).

No segundo experimento com forno micro-ondas, utilizando fluido base parafina, com tempo de 6 min (potência alta), 10 min (potência média), 15 min (potência alta), nessa sequência, foram utilizadas as seguintes temperaturas iniciais da amostra: 33 °C, 34 °C e 37 °C. As finais na amostra foram 188 °C, 191 °C e 196 °C. As temperaturas iniciais internas são as mesmas, contudo as finais com a elevação da temperatura são 110 °C, 100 °C e 158 °C, respectivamente.

Ao analisar os testes com o fluido base água, no forno micro-ondas, as temperaturas foram abaixo de 200 °C. O experimento com maior temperatura foi de 10 min (potência média) com 97 °C na amostra com fluido base água. Já nos experimentos com os fluidos base parafina, a temperatura na amostra de 196 °C de 15 min (potência baixa), chegando próximo dos 200 °C nos três experimentos, mas não ultrapassando este valor.

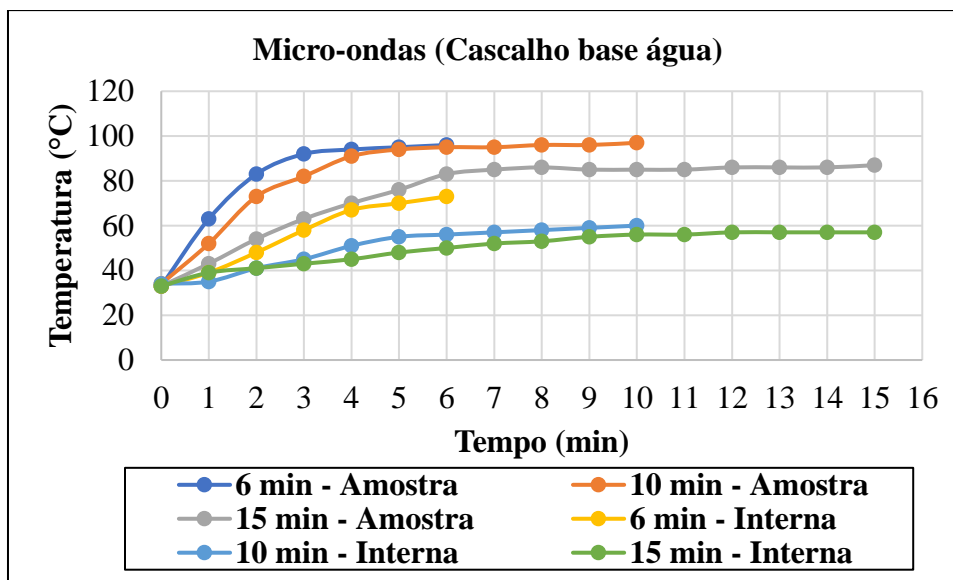
Comparando a secagem de cascalho com fluido base água e fluido parafina, há um aumento da temperatura na amostra com fluido parafina. No forno de micro-ondas, não pode haver uma secagem do cascalho base parafina com temperatura superior a 200 °C devido ao seu ponto de fulgor. Se ultrapassarmos 15 min na secagem, ultrapassamos o limite de temperatura. Na secagem do fluido base água, não há limite de temperatura, pois não há óleo na amostra para limitar o ponto de fulgor.

Após todos os testes com o forno de micro-ondas concluímos que, é possível fazer a secagem no micro-ondas com cascalho base água e base parafina, mas com limitação de tempo e potência no seu processo de secagem com cascalho base parafina.

Nos gráficos 1 e 2 podemos observar o comportamento das variáveis de temperaturas em secagem na amostra e na parte interna do micro-ondas.

Gráfico 1

Relação de temperatura e tempo, no micro-ondas, na amostra e interno, na secagem com cascalho base água

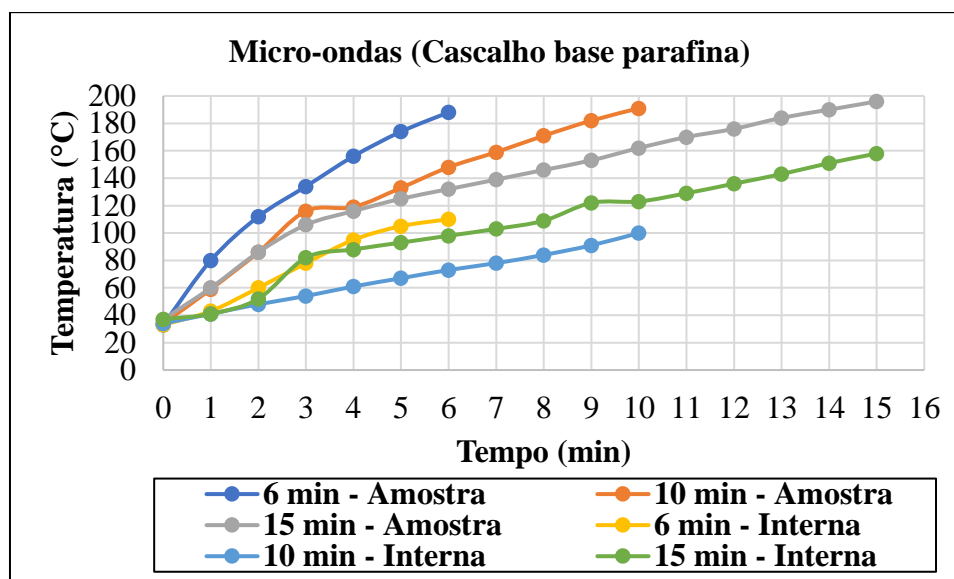


Fonte: Elaborado pelos autores.

Vemos, que o gráfico 1 apresenta a secagem do micro-ondas com cascalho base água. As variáveis estão representadas pela temperatura na amostra e temperatura interna. Observa-se que, neste caso, as temperaturas da amostra e interna não são superiores a 100°C.

Gráfico 2

A relação de temperatura e tempo na amostra e interno no micro-ondas com cascalho base parafina



Fonte: Elaborado pelos autores

No gráfico 2, ao analisar as temperaturas da amostra e interna do equipamento com cascalho base parafina, observa-se uma temperatura próxima a 200°C, superior aos testes realizados com cascalho base água.

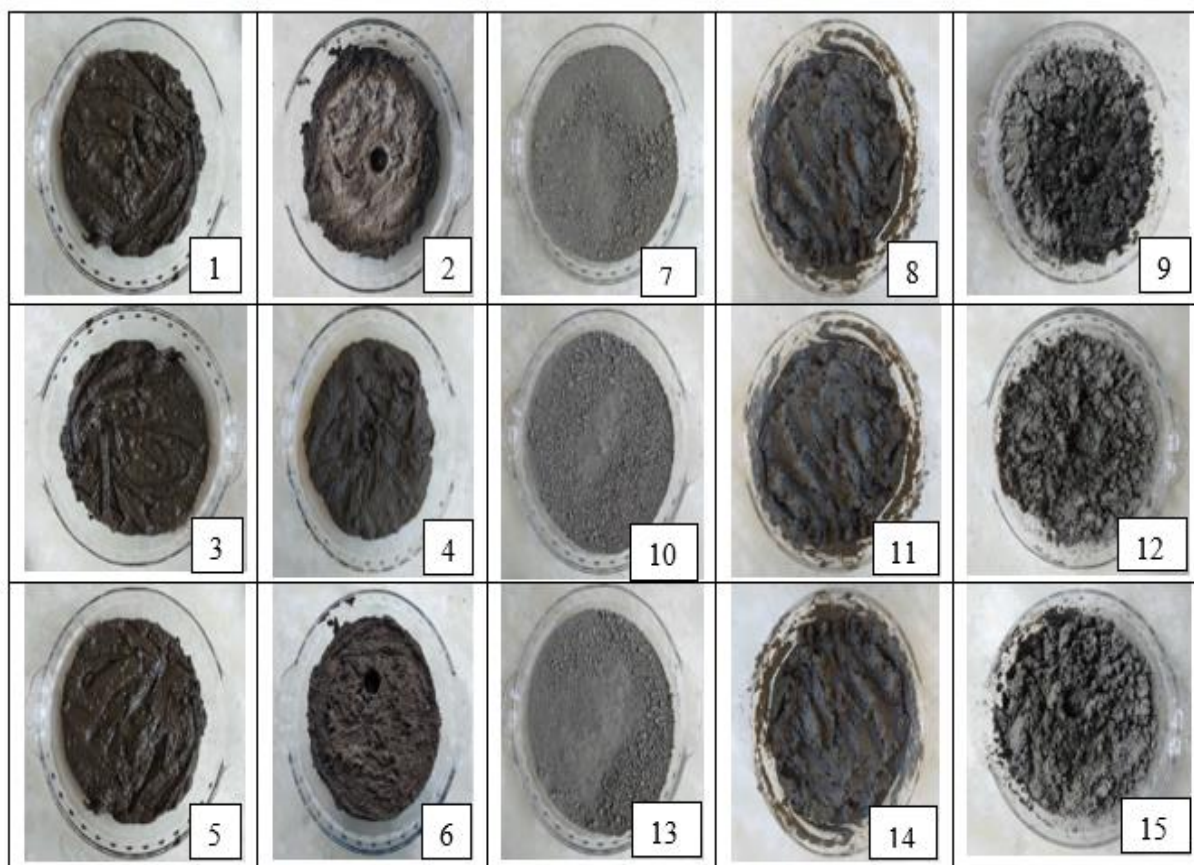
Portanto, conclui-se que, no forno de micro-ondas, a temperatura é maior na amostra do que a interna do equipamento, quando utilizados o cascalho base água e o cascalho base parafina.

Resultado da secagem com cascalho base parafina e base água no micro-ondas.

Na figura 3, são apresentados todos os resultados dos experimentos com amostra base parafina e base água com 6 min, 10 min e 15 min, no micro-ondas.

Figura 3

Amostras antes e após secagem com cascalho base parafina e base água no micro-ondas



Fonte: Elaborada pelos autores

A numeração na figura 3 indica o preparo e o cascalho na secagem no equipamento, nesse experimento o cascalho base parafina é pronto para secagem, foram realizados três testes desse cascalho. Segue os resultados:

1° Teste com cascalho base parafina 6 min com potência alta

Amostra antes da secagem (1), Amostra após secagem (2).

2° Teste com cascalho base parafina em 10 min com potência média

Amostra antes da secagem (3), Amostra após secagem (4).

3° Teste com cascalho base parafina em 15 min

Amostra antes da secagem (5), Amostra após a secagem (6).



Resultado da secagem com cascalho base água no micro-ondas, essa amostra teve uma adição de água. Segue abaixo o resultado dos testes:

1° Teste com cascalho base água 6 min Alta

Amostra antes da adição de água (7), Amostra homogênea (8) e amostra após secagem (9).

2° Teste com cascalho base água 10 min Média

Amostra antes da adição de água (10), Amostra homogênea (11) e amostra após secagem (12).

3° Teste com cascalho base água 15 min Baixa

Amostra antes da adição de água (13), Amostra homogênea (14) e amostra após secagem (15).

Testes micro-ondas - capacidade total de temperatura e tempo – fluido base água

Os experimentos no micro-ondas foram analisados na capacidade total de tempo, com 30 min, em potência baixa, média e alta. Os testes de capacidade total no micro-ondas só foram realizados com fluidos base água porque já haviam sido realizados testes com cascalho base parafina em menor tempo de 30 minutos e a temperatura ficou acima do ponto de fulgor.

Os resultados 30 minutos, com temperaturas iniciais no experimento de 34 °C, 33 °C, 33 °C, temperaturas finais 140 °C, 162 °C, 195 °C na amostra, temperaturas finais internas com 84 °C, 111 °C, 141 °C, seguindo a sequência da potência de baixa, média e alta.

Foi testado, igualmente, o cascalho com fluido base água, sob temperaturas inferiores a 200 °C, mas como não é cascalho com fluido base parafina, temperatura não é problema. Ao testar toda a capacidade observou-se que o equipamento é apto para secagem com fluido base água, em qualquer potência, em tempo de 30 min.

Testes com fritadeira elétrica

Os experimentos na fritadeira elétrica foram realizados com cascalho base água e cascalho base parafina. Na fritadeira, a potência é única (1500 W), tendo sido utilizada a temperatura máxima de 200 °C para todos os experimentos, nesse equipamento. O fabricante da fritadeira recomenda fazer um pré-aquecimento de 5 min antes de inserir algum produto dentro da mesma e assim foi

efetuado. Após o aquecimento, foi introduzida a amostra na fritadeira e iniciou-se a contagem do tempo. As temperaturas iniciais nos testes são as do ambiente, no momento.

No primeiro teste com fluido base água, em tempo de 6 min, a temperatura inicial na amostra foi 39 °C e a final, 80 °C. A temperatura interna inicial foi a mesma da amostra e a final, 158 °C.

No segundo teste com fluido base água, a temperatura inicial, na amostra, foi 40 °C e final, 85 °C, em 10 min de secagem. A temperatura interna final foi 156 °C, no mesmo teste. No terceiro teste, em 15 min, com fluido base água, a temperatura inicial da amostra foi 34 °C e a final, 81 °C. A temperatura interna final foi 162 °C.

O primeiro teste com 6 min e fluido base parafina, a temperatura inicial, na amostra, foi 34°C e a final, 79 °C. A temperatura interna final foi 172°C. No segundo teste, com 10 min e fluido base parafina, a temperatura inicial da amostra foi 32 °C e a temperatura final, 112 °C. A temperatura interna final foi 187 °C. No terceiro teste, com 15 min e fluido base parafina, a temperatura inicial da amostra foi 34°C e a final, 109 °C. A temperatura interna final dentro da fritadeira foi 180°C.

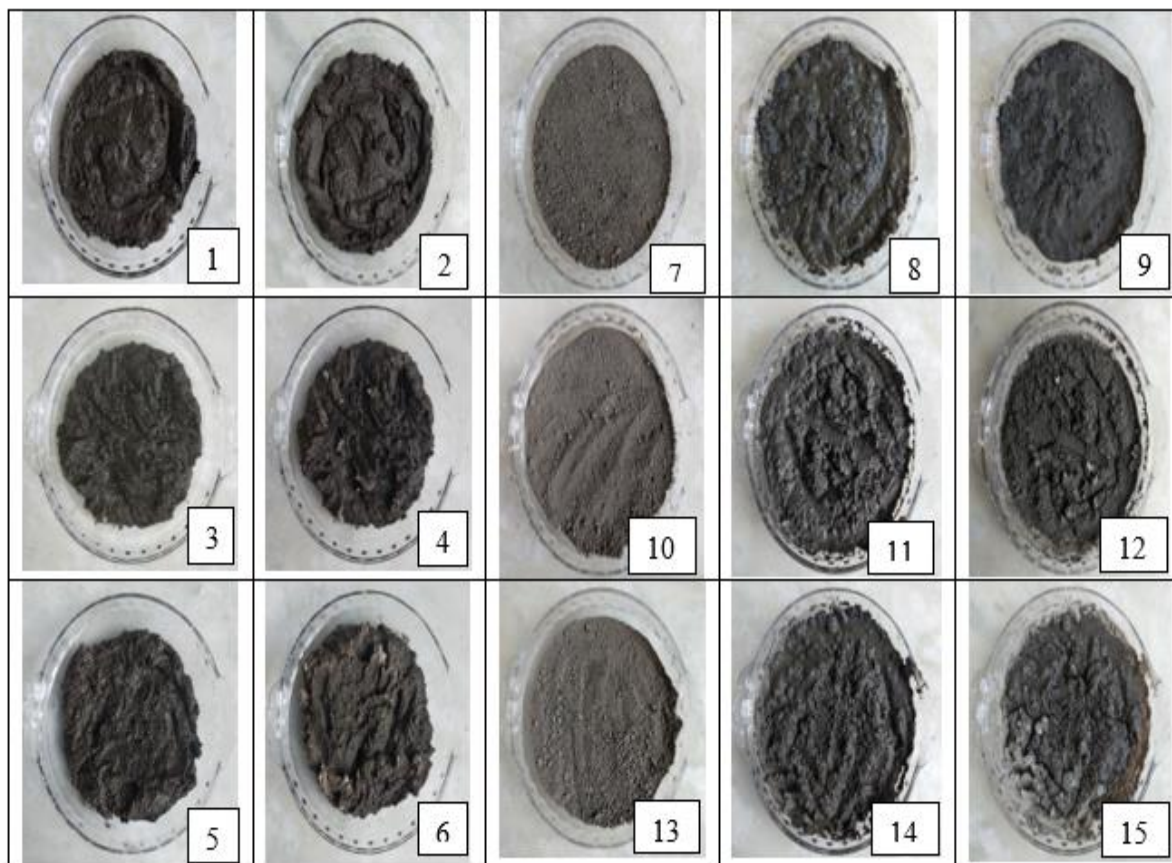
Em todos os experimentos com a fritadeira observou-se uma temperatura menor dentro da amostra do que na área interna. O diferencial da fritadeira é que os testes com cascalho base água e base parafina não passaram dos 200 °C. Portanto, é um equipamento que não possui restrição ao utilizar fluido base parafina com uma concentração de óleo e risco de explosão, caso atinja seu ponto de fulgor.

Secagem com fritadeira



Figura 4

Amostras antes e após secagem na fritadeira com cascalho base parafina e base água



Fonte: Elaborada pelos autores

Resultado da secagem com cascalho base parafina na fritadeira. A numeração na figura 4 indica o preparo e o cascalho na secagem no equipamento, nesse experimento o cascalho base parafina é pronto para secagem. Segue os resultados:

1° Teste com cascalho base parafina 6 min Alta

Amostra antes da secagem (1), Amostra após secagem (2).

2° Teste com cascalho base parafina 10 min Média

Amostra antes da secagem (3), Amostra após secagem (4).

3° Teste com cascalho base parafina 15 min Baixa

Amostra antes da secagem (5), Amostra após secagem (6).

Resultado da secagem com cascalho base água na fritadeira, essa amostra teve uma adição de água. Segue abaixo o resultado dos testes:

1° Teste com cascalho base água 6 min

Amostra antes da adição de água (7), Amostra homogênea (8) e amostra após secagem (9).

2° Teste com cascalho base água 10 min

Amostra antes da adição de água (10), Amostra homogênea (11) e amostra após secagem (12).

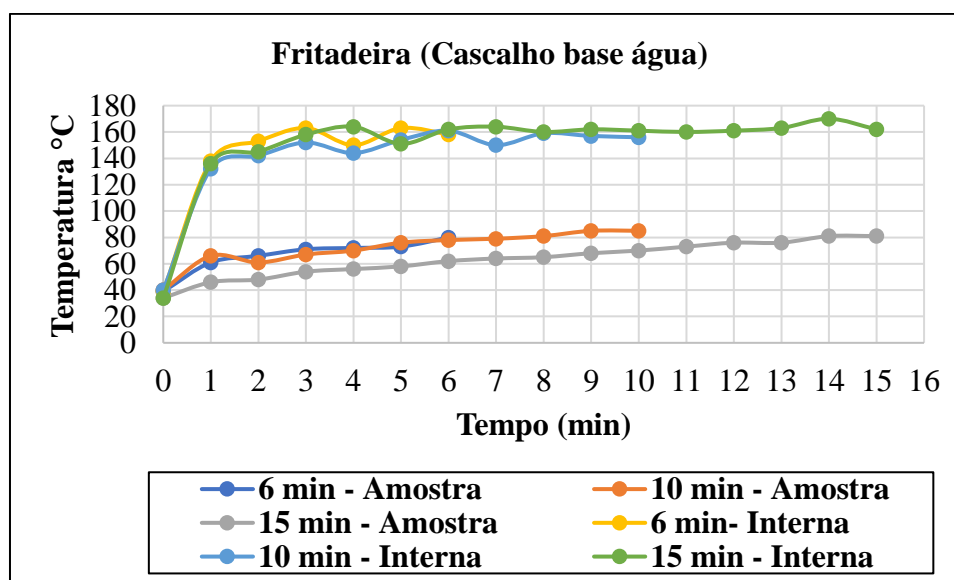
3° Teste com cascalho base água 15 min

Amostra antes da adição de água (13), Amostra homogênea (14) e amostra após secagem (15).

Os gráficos abaixo apresentam as temperaturas de secagem na amostra e interna na fritadeira:

Gráfico 3

Temperatura na amostra e interna com cascalho base água



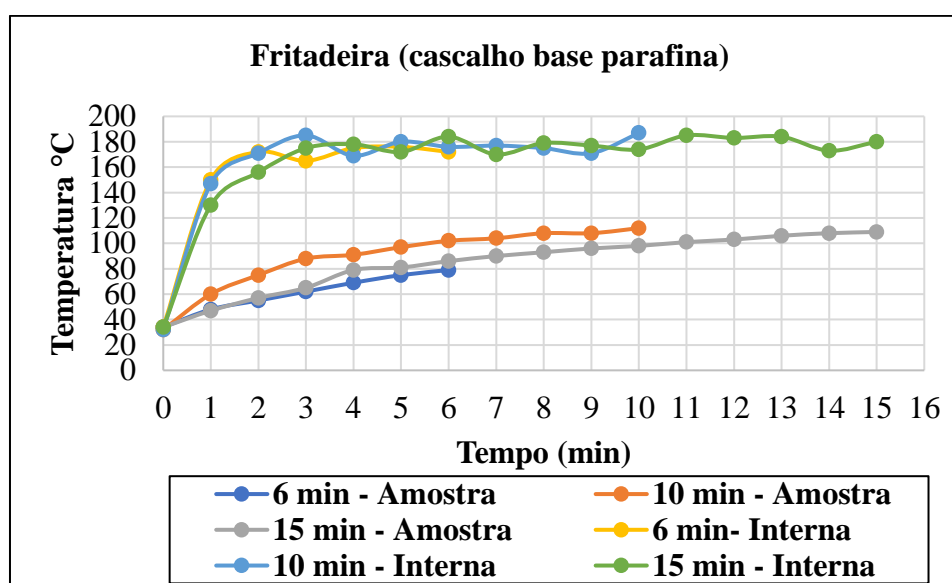
Fonte: Elaborado pelos autores

A secagem na fritadeira, com cascalho base água, todos os experimentos foram realizados com 5 min de aquecimento prévio, sem amostra. No gráfico 3, observamos que a temperatura da

amostra é inferior à temperatura interna. A temperatura interna não é superior a 200 °C, pois foi a temperatura selecionada no equipamento, em todos os experimentos. Nesse experimento, com baixa temperatura na amostra, observamos que houve remoção da umidade.

Gráfico 4

Temperatura na amostra e interna com cascalho base parafina



Fonte: Elaborada pelos autores

Assim como nos experimentos realizados com cascalho base água, o gráfico 4 demonstra que, com cascalho base parafina, continua o menor aquecimento na amostra, mas houve um discreto aquecimento em relação ao cascalho base água. A temperatura interna continua superior, indicando que a fritadeira é um equipamento que não eleva a temperatura da amostra, não havendo problemas com aquecimento em cascalho base parafina, mesmo que tenhamos cascalho com uma concentração maior de parafina, pois este não atingirá o ponto de fulgor. Nos experimentos em que se utilizou esse equipamento, com esse tipo de cascalho, mesmo com baixo aquecimento na amostra, houve remoção da umidade.

Teste de capacidade na secagem da fritadeira

Foram realizados dois testes na capacidade total da fritadeira, com cascalho contaminado com fluido base água e contaminado com base parafina.

A temperatura utilizada no equipamento é a máxima, isto é, 200 °C. O monitoramento revelou que a temperatura na amostra e interna são sempre inferiores.

A partir dos resultados obtidos nos testes anteriores em que se utilizou a fritadeira elétrica, observou-se que, na secagem de cascalho base parafina, não se atingiram temperaturas elevadas. Com isso, foram efetuados testes com a capacidade total de tempo em 30 minutos com a potência única do equipamento de 1500 W.

O experimento com cascalho base água teve uma temperatura inicial na amostra de 34 °C, final na amostra com 104 °C e uma temperatura interna de 167 °C. No experimento com cascalho base parafina, a temperatura inicial de 38 °C, final na amostra 129 °C e a final interna 167 °C.

Nesses testes, não se pré-aqueceu o equipamento, tendo a amostra sido inserida, no início dos testes, com o objetivo de se analisar como a temperatura se comporta, sob aquecimento na fritadeira.

No controle de sólidos dos fluidos de perfuração de petróleo, em uma operação de sonda *Onshore*, plataforma de perfuração offshore ou navio sonda, as operações podem ser contínuas por um tempo, mas apresentam interrupções. Através desses últimos testes foram analisados esses fatores, isto é, que um equipamento possa não estar funcionando, durante a interrupção de um processo, na operação. Esses experimentos de capacidade total de tempo foram realizados sem aquecimento do equipamento, em 5 minutos. Os experimentos com a fritadeira foram realizados em 30 minutos, assim como os do micro-ondas, sem aquecimento prévio dos equipamentos.

Fator energético com wattímetro

Resultados do monitoramento com wattímetro no forno de micro-ondas

Em todos os experimentos, foi realizado o monitoramento através do wattímetro, na leitura dos fatores energéticos dos equipamentos. Os fatores analisados foram, em sequenciamentos de 6 min (potência alta), 10 min (potência média) e 15 min (potência baixa), Quilowatt-hora (kwh): 0.103, 0.139, 0.146; Volts (V): 216.5V, 219.3V, 220V, esses valores variam, mas ficam sempre próximos de 220V (rede elétrica); Frequência (Hz); Ampere (A) 6094A, 6069A, 5929A, onde foi verificado a força e



a intensidade da corrente elétrica; Custo R\$/kWh (reais): 0,06; 0,08, 0.10; Baixa potência (Watts L0) 30.0, 32.4, 29.6 e alta potência (Watts HI) 1274, 1263, 1242.

A secagem do fluido, base água e parafina, foi realizada com monitoramento aos 6 min, 10 min, e 15 min. Aos 15 min, com 0.146 kwh, a quantidade do consumo de energia foi superior a 6 min – 0,103 kwh e 10 min - 0,139 kwh, ou seja, mesmo com potência baixa o consumo de energia é maior.

A voltagem varia, a frequência é a mesma (60 Hz) e a amperagem varia um pouco. O custo em Kwh, mesmo com a diferença de potência, é em relação ao tempo, com 15 min e 0.10 Custo R\$/kWh. As potências (Watts) ao ligar a unidade experimental (Alta potência - W HI) e no momento em que estabiliza (Baixa potência - W L0), apresentam oscilação.

Na capacidade total do micro-ondas, com 30 min, nas três potências, o que teve maior consumo foi o de potência alta, em 0.481 KWh. O custo em reais (R\$/kWh) também é o maior, com 0,29. A frequência é a mesma e a voltagem varia.

Resultados de monitoramento com wattímetro na fritadeira elétrica

Todos os testes foram realizados com um pré-aquecimento de 5 min sugerido pelo fabricante, sendo os testes de 6 min, 10 min e 15 min, com potência única. Os fatores analisados foram quilowatt-hora (Kwh) 0.226, 0.279, 0.357; Volts (V) 220, 217e 218; Frequência (Hz) que permaneceu 60 Hz, em todos os testes. Ampere (A) 6.319, 6.029, 6.029, onde foi mensurada a corrente elétrica; Custo R\$/Kwh (reais) 0.16, 0.20, 0.26; Baixa potência (Watts L0) 47.1, 40.0 e 47.5, quando a unidade experimental fica estável e Alta potência (Watts HI) 1353, 1341 e 1371, ao ligar a unidade experimental. A potência dos testes na fritadeira é única e, com isso, conforme aumenta o tempo de secagem, maior é seu custo. Analisou-se o fator energético, com algumas diferenças, o custo da secagem na fritadeira é maior comparado ao custo no micro-ondas, em quilowatt-hora (Kwh).

Os testes na fritadeira com capacidade total, utilizando cascalho base parafina e base água foram realizados em 30 min, com uma diferença no custo de 0.37, no caso da base água, e 0.34, no

caso da base parafina. No quilowatt-hora, os valores foram 0.510, na base água, e 0.466, na base parafina. O monitoramento possui outros componentes, mas os fatores importantes são os custos e a quantidade de kwh consumidos. A secagem com cascalho base parafina teve números inferiores, mas a eficiência de secagem foi satisfatória, pois removeu a umidade da amostra.

Secagem das amostras

Remoção na amostra do micro-ondas

No forno de micro-ondas, foi variado o tempo, devido ao ponto de fulgor, e a potência para saber qual será a ideal, na secagem. Nele, com secagem de cascalho base água, houve remoção de 85g, em 6 min, com potência alta; de 95g, em 10 min, com potência média; de 65g, em 15 min, com potência baixa. Dentre tais condições, na potência média, em 10 min, houve uma maior remoção de água na amostra.

Nos testes com cascalho base parafina, houve remoção de 33g, em 6 min, com potência alta; de 28g, em 10 min, com potência média; de 37g, em 15 min, com potência baixa. Comparando-se com o cascalho base água há uma remoção menor, no cascalho base parafina, sendo o experimento realizado em 15 min o mais eficiente.

Quanto à capacidade total do forno micro-ondas, foram realizados três testes com potência baixa, média e alta, aos 30 min. No primeiro, houve remoção de 122g, em potência baixa; com potência média, houve remoção de 128g; no terceiro, com potência alta, houve remoção de 134g, sugerindo uma maior eficiência de secagem.

Remoção na amostra da Fritadeira

No caso da fritadeira, varia o tempo, mas a potência do equipamento é única. Ao analisar os testes realizados em potência única, o fator tempo é o diferencial da secagem. Nos experimentos de 6 min, com 45g de remoção, e 10 minutos, com 65g, os valores alcançados são menores. A remoção na secagem de cascalho base água, no terceiro experimento, com 15 minutos, revelou-se mais eficiente, com 70g de remoção.



Na secagem de cascalho base parafina, observou-se o maior tempo na secagem da amostra, sendo o mais eficiente aquele com 28g de remoção de parafina, em 15 minutos. Em 6 minutos, foram 9g removidos e, em 10 minutos, 20g. Ao analisar a secagem, observou-se que cascalho base parafina tem uma menor remoção em relação ao cascalho base água.

Foi realizada a secagem, sob condições de capacidade total, na fritadeira elétrica, com fluidos base água e base parafina. Comparando os experimentos, o fluido base água tem uma maior remoção na secagem, 101g, enquanto o fluido base parafina é menor, com 42g. Os experimentos foram realizados em 30 minutos com potência única.

Considerações Finais

O presente trabalho alcançou o objetivo, inicialmente proposto, ao analisar os parâmetros de temperatura da amostra, temperatura interna, fator energético, secagem da amostra no forno micro-ondas e da fritadeira elétrica, na remoção de fluidos contaminantes, em cascalho obtido de uma perfuração de poço de petróleo.

No forno de micro-ondas, pôde ser efetuada a secagem do cascalho base parafina, em 6 minutos (potência alta), 10 minutos (potência média) e 15 min (potência baixa), garantindo, com essas limitações, que não passe do ponto de fulgor da parafina. No caso de cascalho base água, não há restrição de temperatura na secagem no forno de micro-ondas. Na secagem de capacidade total com tempo de 30 minutos e alta potência houve uma secagem com eficiência em relação à fritadeira, com mesmo tipo de cascalho. Em todos os testes com forno de micro-ondas houve remoção da umidade, sendo este equipamento mais eficiente do que a fritadeira elétrica.

Por outro lado, os experimentos revelaram que a fritadeira elétrica, apesar de ter uma secagem inferior ao forno de micro-ondas, não tem limite de temperatura para 30 minutos, com o cascalho base água e base parafina porque não se ultrapassa a temperatura de 200°C.

A análise dos dados obtidos sugere que as tecnologias do forno de micro-ondas e da fritadeira elétrica podem ser utilizadas na fabricação de equipamentos, em uma estrutura compatível com o equipamento de controle de sólido, para um descarte seco e melhor para o meio ambiente,

em uma perfuração de petróleo. Com uma secagem eficiente, nesse último processo, maior será a redução dos componentes químicos introduzidos no cascalho. Portanto, em caso de derramamento de cascalho, nas estradas, e descarte, no fundo do mar, menor será a chance de poluir o meio ambiente, melhorando a sustentabilidade ambiental.

O presente trabalho teve limitações em realizar testes experimentais com altos volumes, devido os equipamentos utilizados na pesquisa serem de pequeno porte.

Futuramente será necessário a realização de pesquisas para análise de viabilidade econômica entre o micro-ondas e a fritadeira elétrica, para verificar a possibilidade de construção de um equipamento similar a fritadeira elétrica, com características mais eficientes, com temperatura interna maior (na amostra), mantendo a temperatura do equipamento constante e aproximado do ponto de fulgor do cascalho com fluido base parafina. Melhorando assim a remoção de contaminantes nos resíduos base aquoso e não aquoso nos cascalhos de perfuração, mantendo a sustentabilidade ambiental no processo de exploração de petróleo.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (2021). *Ranking das tarifas: tarifas vigentes homologadas* pela ANEEL. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>. Acesso em 01/09/2021.
- DARLEY, H.; CAENN, R.; GRAY, G. R. (2017). *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. 7ª. ed. [S.l.]: Editora Elsevier. Disponível em http://www.quimidrol.com.br/media/blfa_files/Parafina_Solida_Industrial_2.pdf. Acesso em 02. 02.20221.
- FIGUEIREDO, F. F. (2013). A gestão dos resíduos sólidos no Brasil e seus rebatimentos na cidade de Natal/RN. *Revista Mercator*, 2013. Disponível em <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewFile/1180/502>. Acesso em 11/12/2021.
- FIOCRUZ. (2020). *Documento de Contribuição Brasileira à Conferência Rio+20*. Disponível em



http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/material%20noticias/doc_rio20.pdf. Acesso em 15/01/2021.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS (2021). *Avaliação de Opções para a Destinação do Cascalho Gerado na Perfuração de Poços Marítimos do Brasil*. Disponível em:

<https://cloud.crm.ibp.org.br/cadernos-ep-fasciculo-2> . Acessado em: 10 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2017).

Decreto nº 8.973: de 24 de janeiro de 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/1738771/do1-2018-01-11-instrucao-normativa-n-1-de-2-de-janeiro-de-2018-1738767 Acesso em: 20 novembro, 2021.

LAYRARGUES, P. P. (1997). *Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito*. Proposta, São Paulo. Disponível em <https://docplayer.com.br/51211-Do-ecodesenvolvimento-ao-desenvolvimento-sustentavel-evolucao-de-um-conceito-1.html>.

Acesso em 14/11/2021.

MANUAL CONSUL DO CONSUMIDOR. (2009). *Micro-ondas erva doce*. Consul.

MANUAL KNUP. (2021). *Termômetro culinária digital KP – 8007*. Knup.

MANUAL MALLORY. (2012). *Fritadeira de Ar WELLNESS FRY*. Mallory.

MANUAL WATTIMETRO DIGITAL SAFIRATEC. (2021). *Medidor, voltagem e consumo eletrônico 110v / 220v*. Safiratec.

MARTINS, S. S. S.; AZEVEDO, M. O.; SILVA, M. P.; SILVA, V. P. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. *Revista Holos*, v.6, 2015. Disponível em:

<http://doi.org/10.15628/holos.2012.2201> . Acessado em: 22.06.2021.

MENESES, C. G.; PAULA, G. A. Avaliação do resíduo de cascalho de perfuração de poços de petróleo da bacia potiguar e alternativas para sua destinação e reaproveitamento. *Revista RUnPetro*, v.3, n.1, p.29-38, 2015.

MOURA, R. S. M. C. et al. (2020). Políticas públicas e gestão de resíduos sólidos urbanos no Município de Rafael Fernandes/RN. *Research, Society and Developmen*, Ariqueme, v. 9, n. 9. ago. 2020.

Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7598/6646>. Acesso em 11/12/2021.

PORTANTIOLO, CLAUDIA S. et al (2015). *Parafina Sólida Industrial: Parafina de Petróleo; Parafina Macrocrystalina; Cera de Petróleo*. Quidridrol. Ficha técnica.

ROMANI, Carlo. (2021). *A insustentabilidade do Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em <http://www.unaerp.br/sici-unaerp/edicoes-anteriores/2010/secao-1-6/1191-a-insustentabilidade-do-desenvolvimento-sustentavel/file>. Acesso em 11/12/2021.