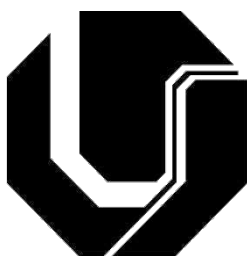


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**DESENVOLVIMENTO DE MODELO ESTÁTICO PARA INFERÊNCIA
DO TEOR DE UMIDADE RESIDUAL PRESENTE NO SÓLIDO RETIDO
SOBRE A TELA DE PENEIRA VIBRATÓRIA**

Autora: Aline Garcias de Faria

Uberlândia – MG

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO ESTÁTICO PARA INFERÊNCIA
DO TEOR DE UMIDADE RESIDUAL PRESENTE NO SÓLIDO RETIDO
SOBRE A TELA DE PENEIRA VIBRATÓRIA**

Autora: Aline Garcias de Faria

**Monografia de graduação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como
parte dos requisitos necessários para a
aprovação na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso do curso de Engenharia
Química.**

Uberlândia – MG

2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE **ALINE GARCIA DE FARIA** APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 15 DE DEZEMBRO DE 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rubens Gedraite
Orientador- FEQUI/UFU

Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho
FEQUI/UFU

Eng. Anderson Lima de Menezes
PPGEQ/FEQUI/UFU

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA & REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de blocos.....	2
Figura 2.1. <i>mud cleaner</i>	7
Figura 2.2. Centrífuga decantadora	7
Figura 3.1. Esquema da unidade experimental do protótipo da peneira	10
Figura 4.1. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 1\%$	14
Figura 4.2. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 2\%$	15
Figura 4.3. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 3\%$	15
Figura 4.4. Modelo estático para inferência do teor de umidade residual.....	16
Figura 4.5. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - $C_v = 1\%$	17
Figura 4.6. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - $C_v = 2\%$	18
Figura 4.7. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - $C_v = 3\%$	19

RESUMO

O presente trabalho apresenta análise dos resultados práticos obtidos utilizando o protótipo de peneira tradicionalmente empregada em processos de controle de sólidos presentes no fluido de perfuração de poços de petróleo. Foi realizado o desenvolvimento de um modelo estático referente à influência do adimensional força-g no teor de umidade dos sólidos retidos na tela do protótipo de peneira. A variável de processo a ser manipulada para controle da força-g foi a rotação imposta aos motores vibratórios. Os experimentos foram realizados em uma bancada experimental e o simulador estático foi implementado utilizando-se o software matlab/simulink™. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o aumento do valor do adimensional força-g não necessariamente resulta em diminuição do teor de umidade do sólido retido na peneira.

Palavras Chaves: modelo estático inferencial, peneira vibratória, força-g

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O fluido de perfuração é utilizado para a retirada de sólidos em suspensão originados do corte das formações rochosas pela broca de perfuração. A fim manter a estabilidade mecânica do poço, lubrificar a coluna de perfuração, resfriar a broca, entre outros, é necessário monitorar e corrigir as propriedades físicas do fluido de perfuração. Para tal, é necessário controlar a quantidade de sólidos presentes. As classes de equipamentos tipicamente utilizados para a separação sólido-líquidos, em unidades de controle de sólidos são: peneiras vibratórias, bateria de hidrociclones (desareiaadores e dessiltadores) e centrífuga decantadora (LOBATO *et al*, 2011).

Normalmente, o primeiro equipamento da linha de limpeza é a peneira vibratória. Neste equipamento, faz-se escoar o fluido de perfuração através da tela da peneira. Partículas menores que a abertura da tela passarão juntamente com o fluido. Partículas maiores ficarão retidas na superfície da tela e serão encaminhadas para possível secagem e posterior descarte. O propósito da vibração é o transporte do cascalho para fora da tela e o aumento da capacidade de processamento de líquido. Esta ação causa uma rápida separação, reduzindo a quantidade de líquido perdido com os sólidos (RAJA *et al*, 2012; GUERREIRO *et al*, 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do adimensional força-g e, também, da concentração volumétrica da suspensão alimentada sobre o teor de umidade residual presente nos sólidos retidos pela tela de separação do protótipo de peneira vibratória. A otimização da peneira é desejável, pois seu funcionamento afeta o desempenho dos equipamentos seguintes na linha de limpeza e evita a perda de aditivos importantes contidos no fluido. O diagrama de blocos apresentado na Figura 1.1 ilustra de maneira simplificada a interdependência entre as variáveis consideradas neste sistema.

Este trabalho pretende apresentar uma contribuição para o tema, visando compreender a influência da força-g no teor de umidade dos sólidos retidos na tela da

peneira vibratória. Adicionalmente o trabalho pretende colaborar para o aprimoramento didático das disciplinas Controle de Processos Químicos e Análise e Otimização de Processos Químicos.

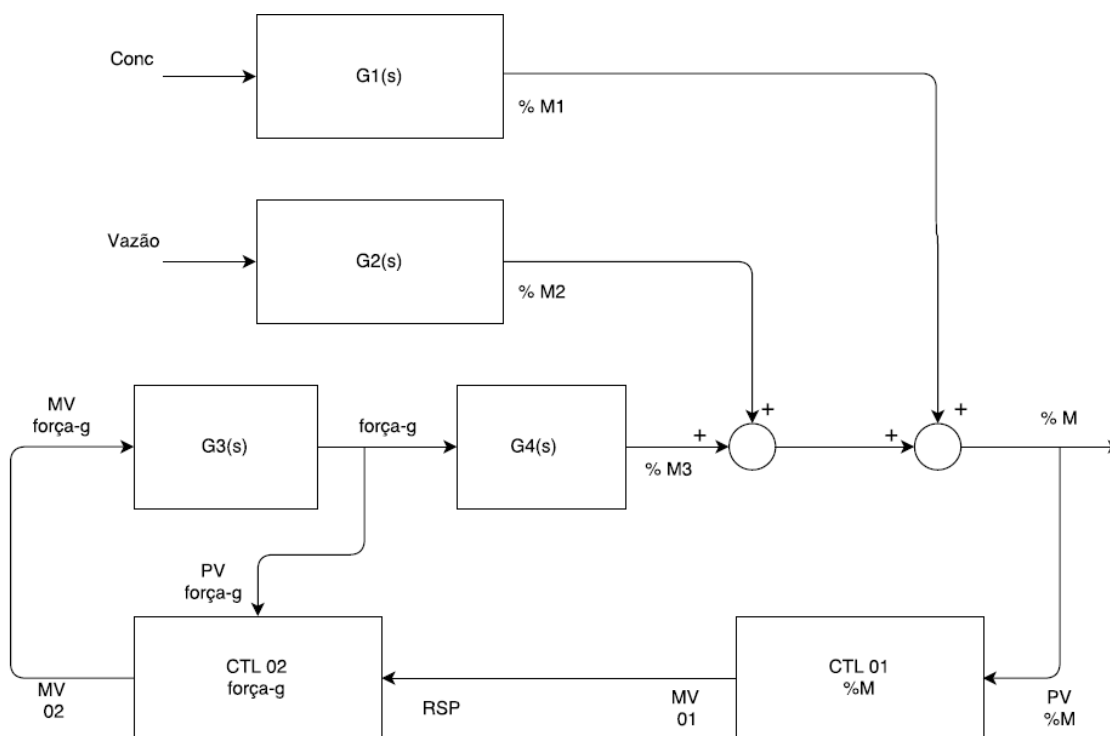


Figura 1.1. Diagrama de blocos mostrando a interdependência entre as variáveis
(Fonte: a Autora, 2017)

Com o intuito de se alcançar o objetivo proposto neste trabalho, o texto apresenta a seguinte estrutura:

No **Capítulo 1** são apresentados a motivação e o objetivo deste trabalho de pesquisa bem como a organização do texto.

No **Capítulo 2** é apresentada uma revisão bibliográfica pertinente ao assunto abordado neste trabalho.

No **Capítulo 3** são apresentados os materiais empregados e a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados obtidos com o emprego do simulador estudado neste trabalho e discutidas as causas dos desvios encontrados em relação ao comportamento esperado.

No **Capítulo 5** é apresentada a conclusão a que se chegou com o desenvolvimento das atividades contidas no escopo deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA & REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A American Society of Mechanical Engineers - ASME (2005) define fluido de perfuração como sendo qualquer fluido, que pode ser bombeado da superfície até o fundo do poço, utilizado em operação de perfuração. O fluido sai pela broca e retorna à superfície através da superfície do ânulo. O fluido passa por um processo de separação para a retirada dos sólidos e após ser tratado, retorna ao poço de perfuração.

O controle da quantidade de sólidos presentes no fluido tem como objetivo reduzir os custos de operação e atender a legislação ambiental referente ao descarte de resíduos.

O fluido de perfuração apresenta uma série de funcionalidades indispensáveis para a operação de perfuração. Entre elas estão remover os sólidos gerados pela broca do fundo do poço, controlar a pressão, dar estabilidade às paredes do poço, lubrificar a coluna, resfriar a broca – o atrito da perfuração gera calor - (American Oil Company – AMOCO, 1994), manter o poço aberto até que seja revestido por cimento, minimizar o impacto ambiental e aumentar a segurança do processo.

É desejável que o fluido apresente algumas características, como apresentar estabilidade química, facilitar a retirada dos sólidos, possibilitar tratamentos físicos, ser bombeável, ter custo razoável, entre outras (THOMAS, 2004).

A vibração da tela tem como objetivo promover a retirada das partículas sólidas retidas na superfície da tela e aumentar a velocidade da separação, aumentando assim a capacidade de processamento da operação. Todavia, o aumento excessivo da vibração pode prejudicar a separação e reduzir a vida útil da tela. (WILLS; NAPIER-MUNN, 2006).

Na literatura, a forma mais comum de medir-se a vibração é através do adimensional força-g, que por definição é a razão entre a aceleração vibracional e a aceleração gravitacional da Terra.

Dorry (2010) verificou através de seus experimentos, que com um aumento da força-g, não há variação significativa no teor de sólidos no material descartado.

O material de fabricação da tela varia de acordo com o material a ser peneirado, podendo ser fios ou placas de metal ou de plástico. Outras características que devem ser levadas em consideração são a forma de abertura, o tamanho da abertura e a porcentagem de área aberta.

A inclinação da cesta também interfere no processo, sendo que uma inclinação descendente irá melhorar o transporte de sólidos, porém o teor de umidade da saída será maior. Para a inclinação ascendente, a capacidade de processamento do fluido pelas aberturas da tela é aumentada, devido ao aumento do tempo de residência, mas a incidência de obstrução da tela também aumenta, diminuindo assim a vida útil da tela (HOBROCK, 1981) apud. (RAJA, 2012).

Scott (2006) media o nível de fluido acima da tela e o comparava com um set-point, em seu trabalho realizado com o controle automático de peneiramento vibratório. Caso o nível de fluido estivesse acima do valor do set-point, a inclinação era aumentada para maior processamento de fluido. Caso o nível estivesse abaixo do valor de set-point, a inclinação era diminuída para que o transporte de sólidos fosse melhor. Este tipo de controle contribuiu para a maximização do processamento de fluido e da vida útil das telas.

Através dos experimentos realizados no trabalho de Raja (2012), verificou-se que o aumento do teor de sólidos diminui a capacidade da peneira, até certo valor. Raja (2012) testou inclinações ascendente, horizontal e descendente. Foi possível verificar que a maior capacidade alcançada foi para a inclinação ascendente e a menor para a inclinação descendente.

O trabalho de Fowler e Lim (1959) constatou que o aumento da vazão de alimentação implica em diminuição no valor da eficiência granulométrica de separação de sólidos.

Outro fator que tem influência na umidade é a densidade do fluido a ser separado. Com um aumento da densidade, a pressão exercida sobre a tela aumenta e age

como uma força motriz para a passagem do fluido pelas aberturas. Portanto, com o aumento da densidade, a capacidade da peneira também aumenta. Mas deve-se tomar cuidado, pois o aumento de teor de sólidos dificulta a passagem de líquido pela tela da peneira (AADE, 1999).

Através de verificação obtida pelo estudo de Raja (2012) foi possível concluir que o transporte de material sobre a tela da peneira foi mais lento para uma viscosidade maior. Portanto, para um aumento na viscosidade plástica do fluido, ocorre uma diminuição na capacidade da peneira vibratória.

O aumento na quantidade de partículas com tamanho semelhante ao tamanho de abertura da tela causa diminuição da capacidade de peneiramento (AADE, 1999). Tal fato ocorre pois essas partículas podem causar obstrução e diminuir a área disponível para o peneiramento.

Estudos conduzidos por Trumic e Magdalinovic (2011) constataram que quanto maior a quantidade de partículas menores que 75% do tamanho da abertura da tela, maior a velocidade do peneiramento. Tal constatação foi feita a partir de experimentos em batelada, variando a porcentagem de partículas com este tamanho.

Trumic e Magdalinovic (2011) verificaram que a eficiência do peneiramento diminui com o aumento da irregularidade dos sólidos.

O sistema completo de separação de sólidos compreende diversos tipos de equipamentos em série, sendo a peneira vibratória o primeiro equipamento da linha. O bom funcionamento e eficiência das peneiras afeta diretamente a eficiência do processo de separação, pois evita a sobrecarga dos equipamentos posteriores.

Após as peneiras vibratórias, o fluido passa por *mud cleaners*, que utilizam uma combinação de hidrociclones e peneira vibratória com tela fina para remover os sólidos perfurados enquanto recuperam aditivos e líquidos para o sistema ativo de circulação. Na Figura 2.1 é apresentado um *mud cleaner* da empresa Tr Solid Control Equipment Company.



Figura 2.1. *mud cleaner* pertencente à Tr Solid Control Equipment Company.

Após o *mud cleaner*, tem-se a centrífuga decantadora, que opera sob o princípio de submeter o fluido processado a altas rotações, acelerando a taxa de sedimentação dos sólidos. Na Figura 2.2 é apresentada uma centrífuga decantadora do Grupo Sigma S.R.L.



Figura 2.2. Centrífuga decantadora pertencente ao Grupo Sigma S.R.L.

Lobato *et al.* (2011) elaboraram artigo de revisão bibliográfica sobre o tema peneiras vibratórias, com enfoque na área de instrumentação e controle de processos baseados em modelos matemáticos.

Guerreiro *et al.* (2012) desenvolveram modelo matemático para representar o comportamento dinâmico da operação de peneiramento realizada em protótipo de peneira vibratória. O modelo proposto pelos autores foi desenvolvido com base em equações de primeiros princípios e funções de transferências, tendo sido implementado no ambiente Simulink® do aplicativo MATLAB®. O modelo proposto não foi validado experimentalmente.

Da Matta *et al.* (2014) construíram um protótipo de sistema de visão computacional para aplicação em análise de tamanho de partículas maiores, visando usar o mesmo no sistema de controle da peneira. Os testes foram realizados com peneira padronizada da série Tyler e permitiram identificar o tamanho de partículas de diâmetro médio aproximadamente igual a 2 mm ou maiores.

Guerreiro (2015) realizou estudo experimental do peneiramento vibratório em batelada de suspensão diluída de rocha fosfática visando a determinação do teor de umidade de material retido, eficiência granulométrica e diâmetro de corte. O autor usou um protótipo de peneira vibratória para o estudo.

Vargas; Guerreiro; Gedraite (2015) analisaram os requisitos requeridos para a instrumentação a ser aplicada a protótipo de peneira vibratória. Os autores concluíram que a malha de controle da variável de processo força-g permitia acompanhar adequadamente o andamento da operação do sistema. A principal dificuldade observada foi a regulação da vazão de alimentação da suspensão ao protótipo da peneira vibratória. Não era possível conduzir experimentos com valores de vazão adequadamente ajustados.

Silva *et al.* (2015) analisaram os resultados experimentais obtidos por Guerreiro (2015) acerca do teor de umidade residual em material sólido retido sobre a tela de protótipo de peneira vibratória. A constatação preliminar dos autores foi a de que o teor de umidade aumentava com o aumento do valor da variável de processo força-g.

Guerreiro *et al.* (2015) desenvolveram análises complementares voltadas ao estudo de variáveis que afetam a umidade residual e a eficiência de separação em peneira vibratória. Os autores basearam o estudo no protótipo de peneira vibratória. Foram analisadas separadamente a influência das seguintes variáveis de processo: concentração da alimentação, abertura da tela e força-g.

Barbosa *et al.* (2015) estudaram o emprego de sistema de visão computacional para monitoração de protótipo de peneira vibratória. O estudo desenvolvido pelos autores foi teórico. Os resultados obtidos apontaram para a possibilidade de integrar o sistema de visão computacional ao sistema de monitoração e controle da peneira.

Guerreiro *et al.* (2015) avaliaram a possibilidade de otimizar o teor de umidade e da eficiência de separação em peneiramento vibratório. Para tanto, foi realizada uma análise *off-line* com base nos resultados experimentais obtidos por Guerreiro (2015). Os autores empregaram o aplicativo GAMSTM. Os resultados obtidos apontaram para a utilização de valores de força-g da ordem de 1,00 e abertura de tela inferior a 150 mesh.

Vargas *et al.* (2015) realizaram novo estudo sobre a utilização de protótipo de peneira vibratória instrumentada para a avaliação do efeito da força-g sobre a eficiência de separação fluido de perfuração-partículas. O objetivo dos autores foi refinar a análise realizada por Silva *et al.* (2015), utilizando modelo matemático aproximado identificado com base nas curvas de resposta do sistema. Os resultados da análise permitiram validar o emprego do modelo identificado na simulação computacional do sistema de controle de força-g.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os resultados obtidos no trabalho desenvolvido por Guerreiro (2015), analisando os dados de operação do protótipo da peneira utilizada no processo de limpeza do fluido de perfuração de poços de petróleo. O esquema da unidade é mostrado na Figura 3.1.

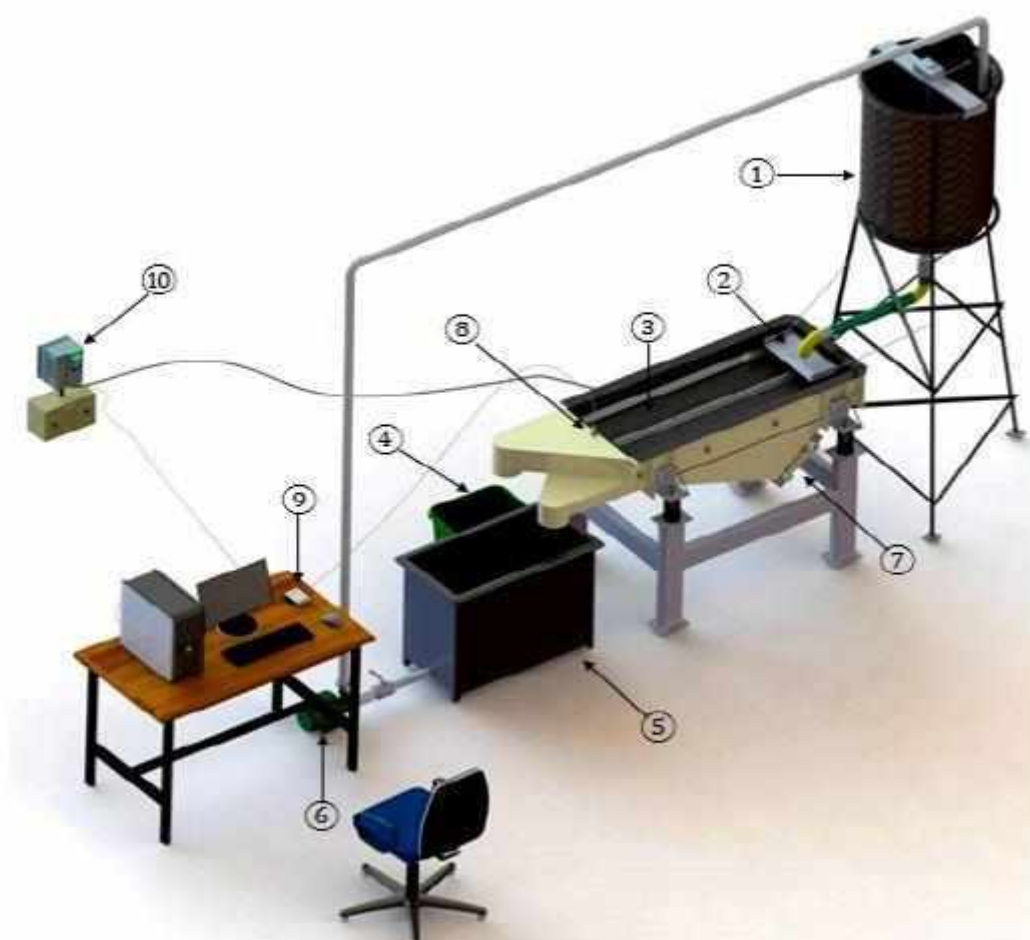


Figura 3.1. Esquema da unidade experimental do protótipo da peneira. 1- tanque de 300 L com agitador; 2- calha de alimentação; 3- tela de peneiramento; 4- balde para o material retido; 5- tanque de descarga de 200 L; 6- Bomba centrífuga; 7- motores vibratórios; 8- acelerômetro; 9- placa de aquisição de dados e 10- inversor de frequência (fonte: **Vargas *et al.*, 2015**)

A unidade experimental utilizada no trabalho de Guerreiro (2015) foi composta por uma peneira vibratória fornecida pelo fabricante Vibrokraft com 1,65 m de

comprimento, 0,81 m de largura e 1,0 m de altura, equipada com dois motores vibratórios de 0,75 cv de potência e um quadro para suporte da tela de separação, que pode ser trocada quando necessário.

A suspensão alimentada foi armazenada em um tanque de 300 L – equipado com sistema de agitação – sendo alimentada sobre a tela de separação por meio de uma calha de distribuição fabricada em aço inoxidável. O líquido passante – juntamente com o material sólido de dimensões menores do que a abertura da tela da peneira – foram recolhidos em um tanque de 200 L.

O material sólido retido foi recolhido em um balde de 50 litros. Foi empregada uma bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ cv para bombear o fluido de volta ao tanque de alimentação e foi usado um computador de mesa equipado com o aplicativo Labview® para monitoramento do processo, controle da vibração e armazenamento de dados. Para melhorar o transporte de material retido sobre a tela de separação, a peneira foi montada com inclinação descendente de 2,2 graus, calculada por relação trigonométrica.

Os motores vibratórios foram montados de forma a fornecer a vibração adequada para o sistema e foram responsáveis por impor o movimento linear ao material sólido retido transportado sobre a tela. Para medir a vibração, foi empregado um acelerômetro piezométrico da marca PCB Piezoelectronic modelo 646B00. Ele enviava um sinal na faixa de 4 a 20 mAcc para uma placa de aquisição de dados da National Instruments modelo USB 6008, acoplada a um computador de mesa. O sinal de vibração é convertido na grandeza força-g, cuja faixa de medição era de 0 a 10 grms. A frequência de rotação dos motores vibratórios foi manipulada por meio de um inversor de frequência da marca WEG modelo CFW7007.

Foram preparados 159 L de suspensão de rocha fosfática solubilizada em água, nas concentrações de 1%, 2% e 3% em volume. A alimentação da suspensão foi realizada abrindo-se a válvula manual do tanque principal (1) para alimentar a suspensão sobre uma calha de aço inoxidável visando distribuir o material uniformemente sobre a largura da tela da peneira. A tela de separação usada na peneira possuía abertura de 175 mesh, que foi a que apresentou melhor eficiência de separação (Guerreiro, 2015). Depois de esgotada toda a suspensão do tanque de alimentação principal, o material retido era coletado e devidamente pesado em uma balança analítica, e o material passante era recolhido no tanque de coleta. O valor da massa total de material retido foi usado para a avaliação do teor de umidade residual, sendo

separadas três amostras para a avaliação do teor de umidade, realizada por pesagem, após submeter o material coletado à secagem em estufa a 105°C por 24 horas.

Após a coleta de amostras para análises, os sólidos utilizados no peneiramento eram manualmente retornados para o tanque principal de alimentação e o líquido passante era retornado através de uma bomba centrífuga localizada na saída do tanque de coleta. Os experimentos foram conduzidos para os valores do adimensional de força- g , impostos à tela da peneira vibratória, variando entre 1,0 e 3,5 e para concentrações volumétricas (C_v) da suspensão iguais a 1%, 2% e 3%.

O modelo desenvolvido é um modelo estático que permite inferir o teor de umidade residual presente no material sólido retido sobre a tela da peneira com base nas condições operacionais estudadas neste trabalho. O modelo matemático foi configurado no aplicativo matlab/simulink™, utilizando a correlação obtida por Guerreiro (2015) e é apresentado no capítulo 4.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento experimental da variável de processo teor de umidade arrastado juntamente com os sólidos separados em função do número adimensional que caracteriza a força-g aplicada, para a peneira vibratória estudada e considerando a concentração volumétrica de sólidos de 1% é apresentado na Figura 4.1. O comportamento correspondente à concentração volumétrica de sólidos de 2% é apresentado na Figura 4.2 e aquele correspondente à concentração volumétrica de sólidos de 3% é apresentado na Figura 4.3. Guerreiro (2015) realizou os experimentos em triplicata.

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que, para a suspensão alimentada com concentração volumétrica igual a 1%, à medida que o valor do adimensional de força-g foi aumentado, o teor de umidade residual apresentou tendência de diminuição para os valores do adimensional de força-g estudados. Este comportamento era esperado, uma vez que a vibração deveria – de fato – proporcionar uma maior remoção de líquido residual presente. Este comportamento é apresentado na Figura 4.1.

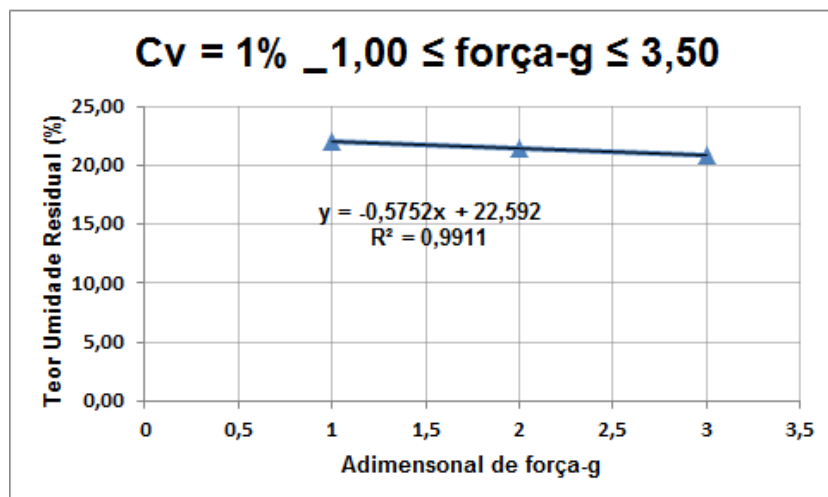


Figura 4.1. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 1\%$
(fonte: Guerreiro, 2015)

Para o caso da suspensão alimentada com concentração volumétrica igual a 2%, à medida que o valor do adimensional de força-g foi aumentado, o teor de umidade residual apresentou a tendência de aumento para os valores do adimensional de força-g estudados. Deve, contudo, ser ressaltado o fato de que o teor de umidade residual foi menor do que o verificado para os testes com concentração volumétrica de 1%, apesar da tendência de aumento apresentada no gráfico da Figura 4.2. Este comportamento pode ser justificado pelo aumento na velocidade de transporte do material sobre a tela de separação da peneira, uma vez que a vibração mais intensa deveria – de fato – proporcionar um aumento no valor da velocidade de transporte, desfavorecendo deste modo o deságue do material.

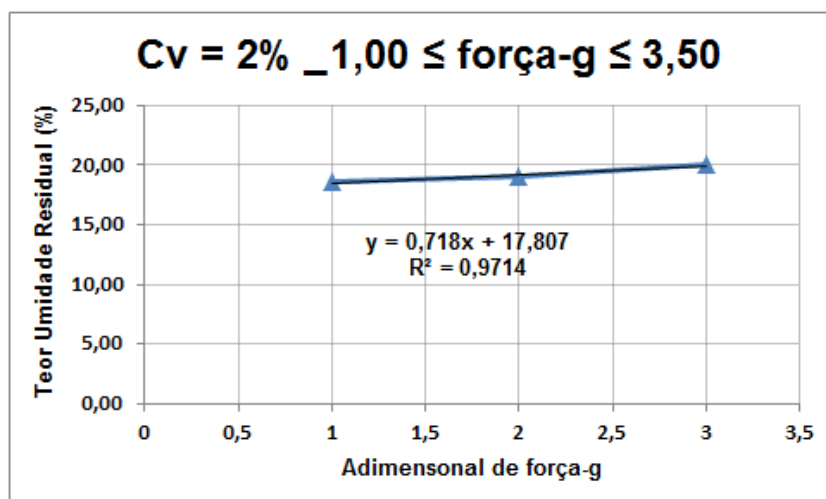


Figura 4.2. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 2\%$ (fonte: Guerreiro, 2015)

Para o caso da suspensão alimentada com concentração volumétrica igual a 3%, à medida que o valor do adimensional de força-g foi aumentado, o teor de umidade residual apresentou a tendência de aumento para os valores do adimensional de força-g estudados. Deve, contudo, ser ressaltado o fato de que o teor de umidade residual foi menor do que o verificado para os testes com concentração volumétrica de 1%, apesar da tendência de aumento apresentada no gráfico da Figura 4.3. Valem aqui os mesmos argumentos utilizados para o caso de concentração volumétrica igual a 2%.

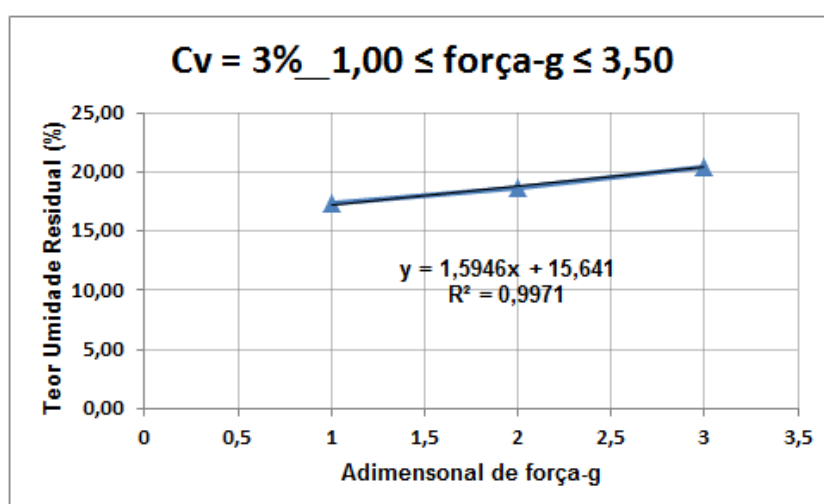


Figura 4.3. Teor de umidade residual em função do adimensional de força-g - $C_v = 3\%$ (fonte: Guerreiro, 2015)

A Equação (1) representa o comportamento identificado para o teor de umidade do sólido retido no protótipo para uma tela de 175 mesh e para um intervalo de concentração volumétrica de 1% a 3% e força-g de 1,00 a 3,50 (GUERREIRO, 2015). O modelo matemático configurado no aplicativo MATLAB/Simulink™ é apresentado na Figura 4.4.

$$M(\%) = 28,290 - 6,831C_V + 0,892C_V^2 - 1,262F_g + 0,057F_g^2 + 0,868C_VF_g \quad (1)$$

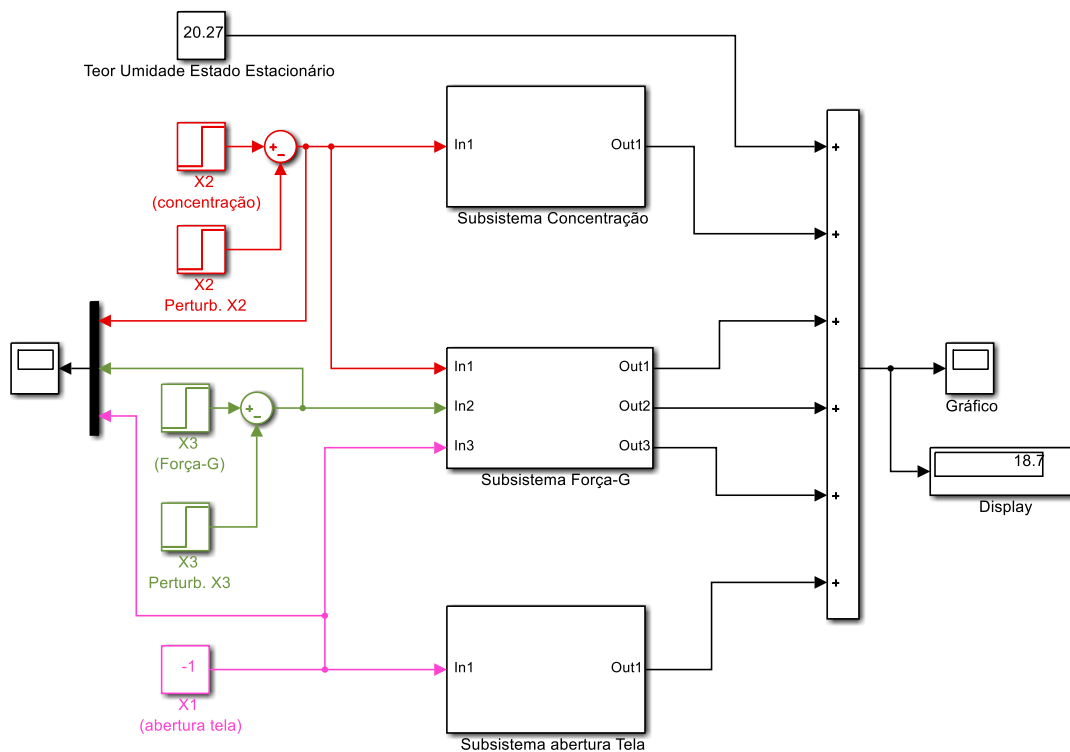


Figura 4.4. Modelo estático para inferência do teor de umidade residual
(fonte: a Autora, 2017)

Trata-se de um modelo estático que permite a inferência do teor de umidade residual presente no material sólido retido sobre a tela da peneira. O modelo foi dividido em três subsistemas principais, a saber: *i)* - subsistema Concentração, *ii)* - subsistema Força-G e *iii)* - subsistema Abertura Tela. O modelo permite que sejam aplicadas variações nas três variáveis em estudo (concentração volumétrica de sólidos, força-g e abertura da tela).

O comportamento comparado entre os resultados obtidos experimentalmente e aqueles obtidos com o emprego do modelo, para a variável de processo teor de umidade residual arrastado juntamente com os sólidos separados em função do número

adimensional que caracteriza a força-g aplicada, para a peneira vibratória estudada e considerando a concentração volumétrica de sólidos de 1% é apresentado na Figura 4.5.

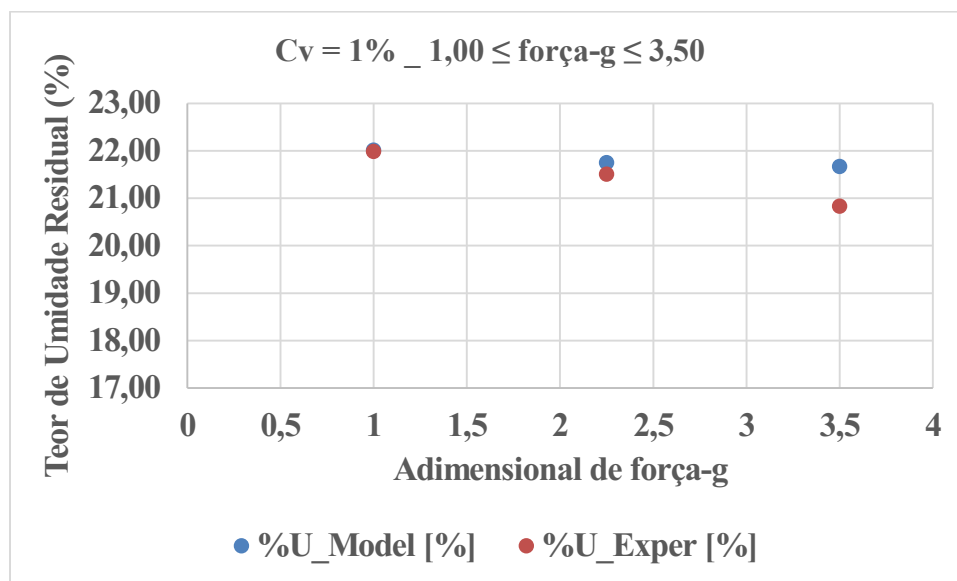


Figura 4.5. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - Cv = 1%
(fonte: A Autora, 2017)

Com base nos resultados obtidos na Figura 4.5, pode-se verificar que o maior valor da diferença entre os valores experimentais e modelados é da ordem de 4% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 3,5. Para os outros casos estudados, esta diferença é da ordem de 1% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 2,25 e da ordem de 0,1% para o experimento que utilizou força-g igual a 1,0.

O comportamento comparado entre os resultados obtidos experimentalmente e aqueles obtidos com o emprego do modelo, para a variável de processo teor de umidade residual arrastado juntamente com os sólidos separados em função do número adimensional que caracteriza a força-g aplicada, para a peneira vibratória estudada e considerando a concentração volumétrica de sólidos de 2% é apresentado na Figura 4.6.

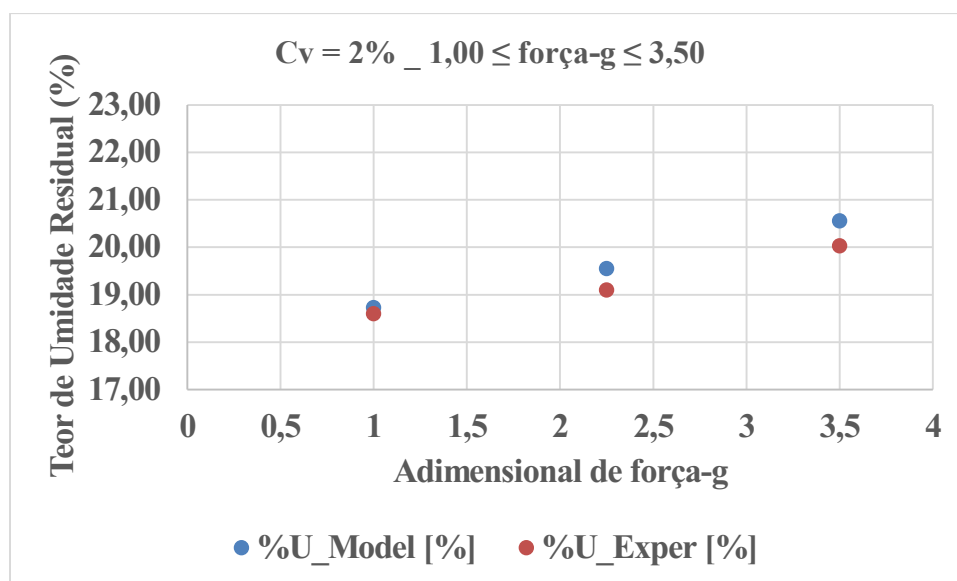


Figura 4.6. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - $C_v = 2\%$
(fonte: A Autora, 2017)

Com base nos resultados apresentados na Figura 4.6, pode-se verificar que o maior valor da diferença entre os valores experimentais e modelados é da ordem de 2,6% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 3,5. Para os outros casos estudados, esta diferença é da ordem de 2,4% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 2,25 e da ordem de 0,7% para o experimento que utilizou força-g igual a 1,0. Apesar do fato de que os valores das diferenças encontradas terem sido menores, em comparação com aqueles da Figura 4.5, eles estiveram presentes em dois experimentos envolvendo os valores do adimensional de força-g utilizados. Tal comportamento sugere que o modelo é menos confiável para o valor de concentração volumétrica de 2%, haja vista que duas das condições estudadas apresentaram incertezas praticamente iguais.

O comportamento comparado entre os resultados obtidos experimentalmente e aqueles obtidos com o emprego do modelo, para a variável de processo teor de umidade residual arrastado juntamente com os sólidos separados em função do número adimensional que caracteriza a força-g aplicada, para a peneira vibratória estudada e considerando a concentração volumétrica de sólidos de 3% é apresentado na Figura 4.7.

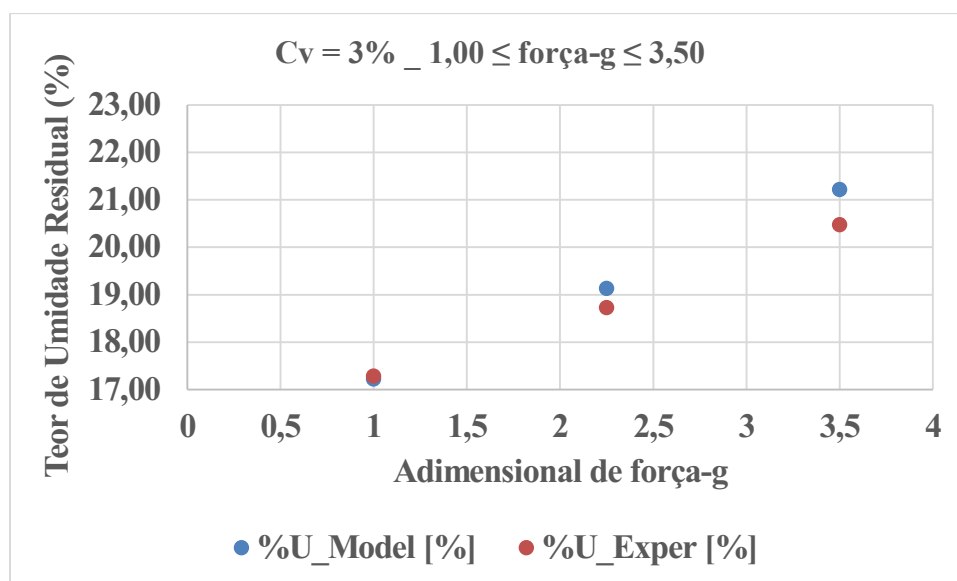


Figura 4.7. Comparação entre o teor de umidade residual experimental e modelado em função do adimensional de força-g - Cv = 3%
(fonte: A Autora, 2017)

Com base nos resultados apresentados na Figura 4.7, pode-se verificar que o maior valor da diferença entre os valores experimentais e modelados é da ordem de 3,6% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 3,5. Para os outros casos estudados, esta diferença é da ordem de 2,0% para o experimento que utilizou o valor de força-g igual a 2,25 e da ordem de 0,4% para o experimento que utilizou força-g igual a 1,0. O padrão de comportamento dos valores das diferenças voltou a ser parecido com aquele apresentado pelo modelo para a Cv = 1%.

De uma maneira geral, o modelo matemático desenvolvido com base nos experimentos realizados e programado no MATLAB/Simulink™ pode ser considerado adequado para uma aplicação prática, pois representou de maneira adequada e coerente o comportamento do teor de umidade residual presente no material sólido retido. O maior valor das diferenças entre os valores obtidos experimentalmente e aqueles obtidos com base no modelo foi inferior a 5%. Isto significa que a incerteza vai afetar o valor estimado do teor de umidade residual na casa dos décimos de unidade do valor estimado, na significativa maioria dos valores calculados.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o modelo matemático semi-empírico identificado representa de maneira adequada e coerente o comportamento do teor de umidade residual presente no material sólido retido na tela de separação da peneira.

As limitações construtivas do protótipo de peneira vibratória impõem restrições a se operar o equipamento de modo a impor valores elevados à variável distúrbio massa de suspensão alimentada – considerada no escopo deste trabalho, haja vista o fato de que o protótipo foi originalmente preparado para ser utilizado em estudos que visaram a caracterização da tela da peneira sob o ponto de vista de encontrar a melhor combinação possível entre a abertura da tela, a concentração da suspensão alimentada e a força-g aplicada sobre o equipamento.

O benefício que pode ser obtido com o emprego do modelo matemático desenvolvido está relacionado diretamente com a operação da peneira, pois o operador do processo vai ter acesso ao valor do teor de umidade residual no material sólido retido, na vigência de alterações nas condições de operação do poço de perfuração de petróleo.

Deve ser ressaltado, também, o fato de que um comportamento mais suave da malha de controle é esperado com o emprego do modelo acoplado ao sistema de controle de processo, o que contribui para a maximização da vida útil da tela da peneira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AADE. (1999). Shale Shakers and Drilling Fluid Systems. Houston: Gulf Publishing Company.

AMOCO. (1994). Drilling Fluids Manual. USA, 444p.

ASME. (2005). Drilling Fluid Processing Handbook. Burlington. USA: Gulf Professional Publishing.

Barbosa, V. P.; Da Mata, E. N.; Kunigk, L.; Assis, W. de O.; R. Gedraite. (2015) Utilização de sistema de visão computacional para monitoração de protótipo de peneira vibratória. In: Anais do VI Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás – ENAHPE 2015. 10 a 13 de agosto de 2015, Rio Quente, GO.

DA MATTA, E. N.; MARANHÃO, G. F. G.; ORTIZ, R. de S. L.; ASSIS, W. de O. GEDRAITE, R.; COELHO, A. D.; KUNIGK, L. (2014). Caracterização de partículas em fluido utilizado na perfuração de poços de petróleo. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática. Belo Horizonte, MG. 20 a 24 de Setembro de 2014.

Dorry, K. E. (2010). Effect of constant-g control on shale shaker performance. In: AADE Fluids Conference and Exhibition. Houston, Texas.

FOWLER, R. T.; LIM, S. C. (1959). The influence of various factor upon the effectiveness of separation of a finely divided solid by a vibrating screen. Chemical Engineering Science, v. 10, p. 163–170,
[https://doi.org/10.1016/0009-2509\(59\)80044-0](https://doi.org/10.1016/0009-2509(59)80044-0)

Guerreiro, F. S., (2015). Estudo experimental do peneiramento vibratório em batelada de suspensão diluída de rocha fosfática: determinação do teor de umidade de material retido, eficiência granulométrica e diâmetro de corte. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

GUERREIRO, F. S., PEREIRA, B. L. V., LOBATO, F. S., NEIRO, S. M. da S. & GEDRAITE, R. (2012). Contribuição ao estudo do comportamento dinâmico da etapa de peneiramento em unidade de tratamento de fluido de perfuração. In: Anais da XVII Jornada em Engenharia Química, promovida pelo Programa de Educação Tutorial (PET – EQ), Uberlândia - MG, 2012.

Guerreiro, F. S., Queiroz, C. G., Neiro, S. M. S., Sá, C. H. M., Gedraite, R. (2013).

Contribution to the study of dynamic behaviour of a shale shaker typically used in drilling fluid treatment unit. Anais do V Encontro Nacional de Hidráulica de Poços.

GUERREIRO, F. S.; BARBOSA, V. P.; VARGAS, I. K. G.; GEDRAITE, R.; KUNIGK, L.; ATAÍDE, C. H. (2015). Construção de bancada experimental para estudo do comportamento do teor de umidade residual presente no material retido utilizando peneira vibratória. In: Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP – 2015). 18 a 21 de outubro de 2015, São Carlos, SP.
<https://doi.org/10.5151/ENEMP2015-PS-386>

Guerreiro, F. S.; Gedraite, R.; Neiro, S. M. S.; Ataíde, C. H. (2015). Avaliação da otimização do teor de umidade e da eficiência de separação em peneiramento vibratório. In: Anais do VI Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás – ENAHPE 2015. 10 a 13 de agosto de 2015, Rio Quente, GO.

Hoberock, L. L. (1981). Screen Selection is Key to Shale-Shaker Operation. Oil & Gas Journal, p. 130–132, 137–141.

Lobato, F. S.; Oliveira-Lopes, L. C.; Gedraite, R.; Neiro, S. M. S.; Murata, V. (2011). Identificação de modelos para unidades de recuperação do fluido de perfuração. In: Anais do IV Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás, Foz do Iguaçu - PR, 2011.

SILVA, M. E. D.; SILVA, R. M.; ABDALA, T. O.; GUERREIRO, F. S.; GEDRAITE, R. (2015) Avaliação experimental do teor de umidade residual em material sólido retido sobre a tela de protótipo de peneira vibratória. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (XI COBEQ IC 2015). 19 a 22 de julho de 2015, Campinas, SP.
<https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2015-088-32197-244711>

SCOTT, E. L. (2006). Automatic shaker control. In: IADC/SPE Drilling Conference. Miami, Florida.
<https://doi.org/10.2118/99035-MS>

VARGAS, I. K. G.; GUERREIRO, F. S.; GEDRAITE, R. (2015). Instrumentação aplicada a protótipo de peneira vibratória. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (XI COBEQ IC 2015). 19 a 22 de julho de 2015, Campinas, SP.
<https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2015-055-32011-250018>

Vargas, I. K. G.; Nascentes, C. L.; Guerreiro, F. S.; Murata, V. V.; Gedraite, R. (2015). Utilização de protótipo de peneira vibratória instrumentada para a avaliação do efeito da força-g sobre a eficiência de separação fluido de perfuração-partículas. In: Anais do VI Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás – ENAHPE 2015. 10 a 13 de agosto de 2015, Rio Quente, GO. THOMAS, J. E. (2004). Fundamentos da Engenharia de Petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, WILLS, B. A.; MUNN, T. J. N. (2006). Will's Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7ª ed. s.l.: Elsevier Science &

Technology Books.

TRUMIC, M.; MAGDALINOVIC, N. (2011). New model of screening kinetics. Minerals Engineering, n. 24, p. 42–49.

<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.09.013>