



CONGRESSO BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA EM  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

21-24 Julho de 2019  
Uberlândia/MG



# PROTÓTIPO PARA ESTUDO DO CONTROLE DE NÍVEL EM TELAS DE SEPARAÇÃO DE PENEIRAS

A. P. M. FREITAS<sup>1</sup>, R. R. N de ANDRADE<sup>2</sup>, A. L. MENEZES<sup>2</sup>, R. A. MALAGONI<sup>2</sup>, e R.  
GEDRAITE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: [rgedraite@ufu.br](mailto:rgedraite@ufu.br)

**RESUMO** – Neste trabalho foi estudado o comportamento do nível de água controlado automaticamente sobre o leito de areia existente acima de tela de separação tipicamente usada em peneiras industriais. Foi construído um protótipo simples e de baixo custo para permitir avaliar experimentalmente o comportamento do sistema. Os resultados obtidos se mostraram adequados e coerentes com o esperado, tendo o sistema de controle de nível funcionado de forma satisfatória.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios para o equipamento de processo é alcançar a condição operacional mais eficiente e, geralmente, isso não é trivial. Primeiramente, é necessário obter o entendimento correto e adequado do comportamento dinâmico do sistema em estudo, tentando identificar a relação de causa e efeito entre as variáveis envolvidas no processo.

Em geral, a melhoria do desempenho do equipamento está diretamente associada ao sistema de controle utilizado e, nesse cenário, a identificação dos parâmetros que representam o(s) modelo(s) do processo que permite(m) o estudo do desempenho do sistema de controle a ser utilizado é relevante (CAMPOS; TEIXEIRA, 2007).

No peneiramento vibratório a representação do processo por meio de modelos matemáticos fenomenológicos costuma ser bastante complexa, em função do grande número de variáveis que participam do fenômeno. Uma alternativa a estes modelos é o emprego de modelos identificados baseados na curva de reação do processo a um estímulo previamente estabelecido. Estes últimos são significativamente mais simples e costumam fornecer resultados aceitáveis sob o ponto de vista operacional.

Barbosa (2018) estudou a influência de diferentes condições de operação sobre a eficiência do processo de deságue, utilizando sistema de visão computacional para caracterizar o comportamento do material retido sobre a tela da peneira. Menezes (2018) utilizou vácuo para melhorar o processo de deságue do material sólido retido, adaptando uma bomba de vácuo em protótipo de peneira vibratória.

A resistência hidráulica oferecida pelo sistema pode ser caracterizada com base nas premissas apresentadas em Garcia (2005) e Aguirre (2007), as quais estabelecem que a

relação constitutiva que pode ser empregada para calcular o valor do parâmetro em questão é diretamente proporcional ao nível de líquido ( $h_l$ ) e inversamente proporcional à vazão mássica de passante ( $\dot{m}$ ) que escoar através do sistema.

$$R_h = \frac{h_l}{\dot{m}} \quad (1)$$

Neste trabalho foi avaliado o comportamento do nível de fluido de trabalho controlado automaticamente por controlador proporcional e integral na presença de material sólido granular retido sobre tela de separação tipicamente usada em peneiras vibratórias.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Realizaram-se os experimentos no protótipo apresentado na Figura 1. Este se consistiu de um funil de Büchner de porcelana, um trecho reto de tubo de PVC de 4 polegadas de diâmetro nominal (diâmetro interno de 10,1cm) e com uma altura de 18,3cm montado na parte superior, de maneira tal que se possibilitasse garantir um nível adequado de líquido sobre o conjunto formado pela tela de separação e o leito de material retido, reservatório feito de PVC, de diâmetro 14,5cm e altura 19,4cm, sendo a esta acoplada uma tubulação transparente que possibilitava a leitura do nível no mesmo, por uma escala graduada, uma tela de 175 *mesh* de abertura, esta última com as mesmas características daquelas tipicamente utilizadas em peneiras vibratórias, uma garra metálica e ainda de um suporte universal. Utilizou-se areia padronizada com densidade absoluta de 2,67 kg/L, medida através de método de picnometria por gás Hélio, da qual foi-se preparada uma mistura com três porções mássicas iguais com padronizações: média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100). A mistura final continha uma granulometria variando entre 90 e 1400 $\mu$ m, medida em peneiramento vibratório com utilização de peneiras da série *mesh Tyler AS 300 control* da *Retsch*.

Figura 1 – Protótipo utilizado nos experimentos.



Quanto à metodologia utilizada neste trabalho, ao longo de todos os experimentos mediou-se diferentes alturas de leitos de areia, e controlou-se o nível de fluido de trabalho de modo a manter a pressão hidrostática da coluna de líquido constante. No início dos

experimentos, antes de se tomar a vazão, saturava-se o leito de areia com o fluido de trabalho, para que assim se evitassem caminhos preferenciais e possibilitasse a análise de um leito mais estável. O fluido de trabalho foi água. A altura da camada de leito foi medida experimentalmente com o auxílio do próprio sistema de controle de nível e a vazão do passante foi determinada por meio de variação do nível no reservatório inferior.

Para a medição da altura do leito de areia e também do nível do fluido de trabalho foi usado o sensor de nível por ultrassom. O modelo utilizado nesse projeto é o HC-SR04, apresentado na Figura 2, que possibilita medidas de objetos que estejam entre 2 cm e 4 m, com uma precisão de 3 mm. É um dispositivo de inúmeras aplicações, tais como: obter a distância de um objeto, desviar um robô de obstáculos, acionar alarmes ou fazer a medição de nível de sólidos e fluidos, como é o objetivo desse trabalho.

Figura 2 – Sensor de ultrassom do modelo HC-SR04 utilizado no trabalho.

Fonte: <https://goo.gl/dxyfht>



Com a função de coletar os dados provenientes do sensor, utilizou-se uma placa Arduino do modelo Uno. O Arduino é uma plataforma *open-source* de eletrônica baseada em hardware e software fáceis de utilizar, onde uma placa conectada ao computador pode realizar diversas funções de entrada e saída de dados segundo um código programado em linguagem Arduino. O nível do fluido de trabalho foi obtido por medida do sensor de ultrassom, o qual enviava o sinal para o algoritmo de controle de nível que atuava sobre uma bomba de corrente contínua de 12V, alimentando então o reservatório superior do protótipo conforme o *set-point* desejado para o nível. Uma limitação da bomba era a de não operar abaixo de 40% de sua capacidade, impondo restrições ao código utilizado. Foi implementado um controlador PI e utilizada uma ponte H para energizar a bomba de acordo com os sinais recebidos da placa Arduino. Na Figura 3 é apresentada uma foto da montagem do circuito de controle.

O cálculo da ação de controle sobre a bomba é dado pela Equação 2.

$$u = K_p(\text{erro}) + K_i \sum \text{erro} + K_d(\text{erro} - \text{erro}_{\text{anterior}}) \quad (2)$$

em que  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  são as constantes proporcional, integrativa e derivativa, respectivamente e valem  $K_p = 2$ ,  $K_i = 0,1$  e  $K_d = 0$ . E o *erro* é diferença entre o *set-point* e o sinal gerado pelo sensor de nível. Com isso, é possível notar que o controlador utilizado é um proporcional integrativo (PI) e o valor de suas constantes foi obtido experimentalmente.

O ajuste dos parâmetros de sintonia do controlador de nível foi realizado por meio da *toolbox* Simulink do software MATLAB™, cujo diagrama de simulação é apresentado na Figura 4a. Na Figura 4b é apresentado o comportamento temporal do nível sob ação do controlador, para o *set-point* ajustado em 7 cm. Os parâmetros do controlador de nível foram



ajustados pelo método da tentativa e erro e estão apresentados na Tabela 1, onde  $\tau_I$  é a constante de tempo e  $K_C$  é o ganho DC do sistema.

Figura 3 – Circuito utilizado no controle de nível líquido.

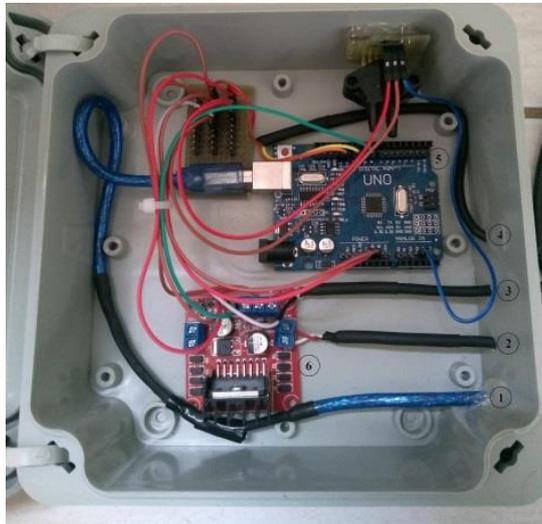
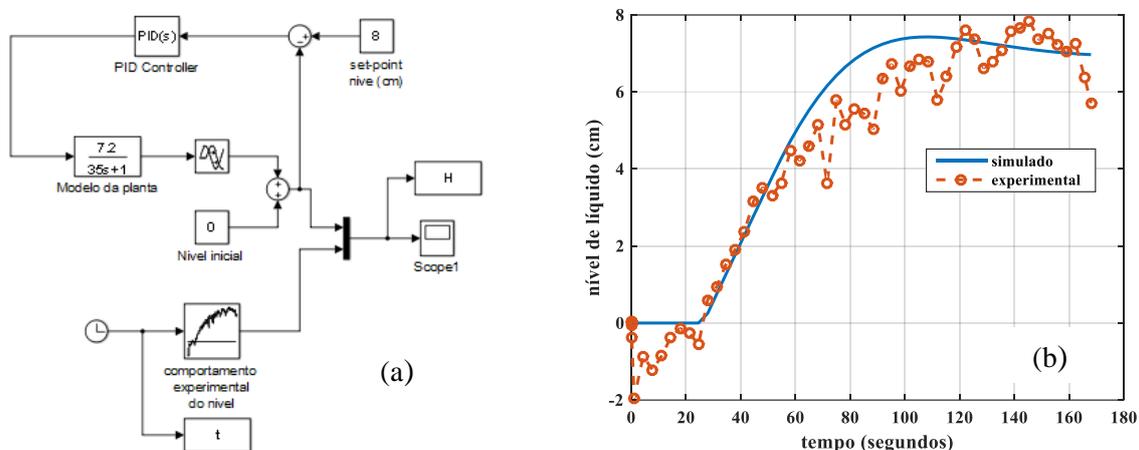


Figura 4 – (a)- diagrama de simulação; (b)- resposta do controlador para SP = 7 cm.



**Tabela 1** -Valores dos parâmetros e características da resposta do controlador

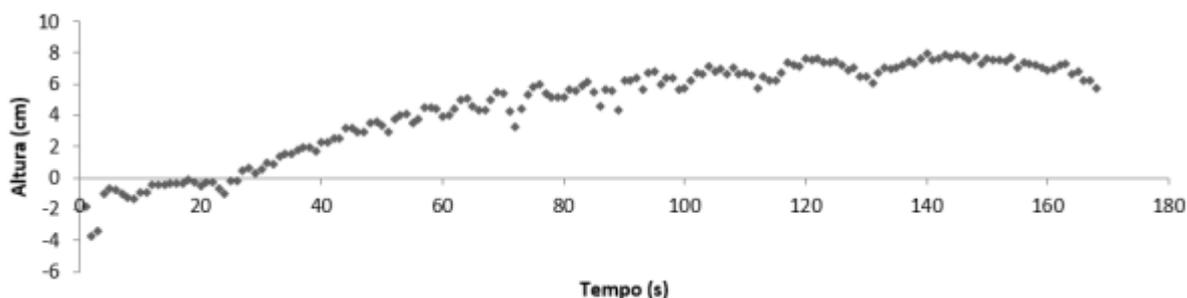
Controlador	$K_C$ (cm/%)	$\tau_I$ (min)	Sobressinal (%)	Tempo de acomodação (seg)
Proporcional e Integral	0.1064	0.0028	6,16	142



### 3. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

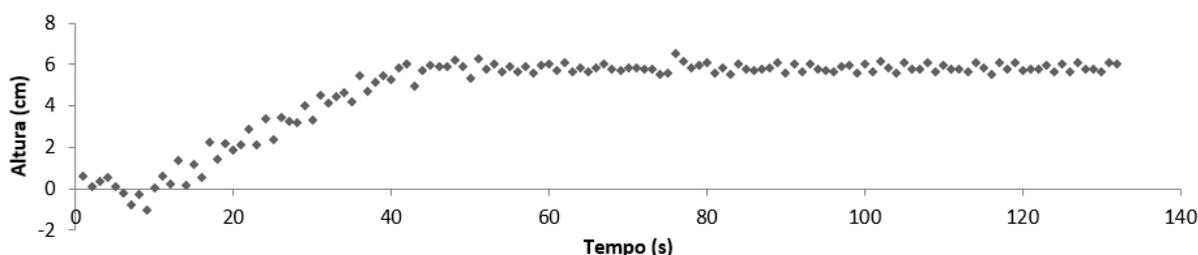
Utilizando o protótipo, realizou-se um teste com uma altura de leito de areia de 4,2 cm e um *set-point* de nível de fluido de trabalho igual a 7 cm de altura de líquido. O resultado é apresentado na Figura 5. Com base no resultado obtido, pode-se observar que o sistema de controle atuou de maneira adequada e coerente para controlar o nível do fluido de trabalho, com um valor de sobressinal considerado aceitável e com um tempo de acomodação adequado à dinâmica de resposta do processo estudado. Os valores ajustados para os parâmetros ganho e tempo integral do controlador de nível são considerados adequados para uso prático uma vez que proporcionaram uma resposta suave e suficientemente precisa da variável controlada.

Figura 5 – Controle de nível de líquido para um *set point* de 7 cm.



Um segundo teste foi realizado para uma altura de leito de areia de 8,1 cm e um *set-point* de nível de fluido de trabalho igual a 6 cm de altura de líquido. O resultado é apresentado na Figura 6. Com base no resultado obtido, pode-se observar que o sistema de controle igualmente atuou de maneira adequada e coerente para controlar o nível do fluido de trabalho.

Figura 6 – Controle de nível de líquido para um *set point* de 6 cm.





Em alguns experimentos foi constatada a formação de dunas e buracos na superfície do meio poroso, os quais poderiam acarretar canais preferenciais e interferência nos resultados. Optou-se, então, pelo descarte de algumas valores obtidos nos respectivos experimentos.

A bomba utilizada, por apresentar um requisito mínimo de vazão para não sofrer danos, alimentava o protótipo com esguichos, promovendo leve fluidização do leito. Com a dificuldade de suavizar essa alimentação do fluido de trabalho de maneira adequada, sem interferir no funcionamento do sensor de nível por ultrassom, boa parte dos experimentos foram realizados com algum grau de desnível na superfície do meio poroso.

## 5. CONCLUSÃO

O protótipo se mostrou adequado para estudar o comportamento do fluido de trabalho ao escoar através de leito poroso. As dificuldades encontradas nos experimentos não foram consideradas limitantes para os testes. O uso da areia foi considerado adequado para fins de análise do comportamento hidráulico do sistema. Trabalhos futuros devem contemplar um método de distribuição de água mais eficiente ou alguma modificação na geometria do protótipo para evitar a formação dos desníveis sobre a superfície do leito.

## 7. REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. Introdução à identificação de sistemas: técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais. Ed. UFMG. 2007.
- CAMPOS, M. C. M. M; TEIXEIRA, H. C. G. Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blucher. 1 ed., 2007.
- GARCIA, C. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos. EDUSP, São Paulo, 2005.
- BARBOSA, V. P. Avaliação de fatores operacionais em processo de peneiramento vibratório aplicado à separação sólido-líquido com o auxílio de técnicas de análise de imagem. *Dissertação (Mestrado)*. Uberlândia - MG. Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- MENEZES, A. L. Contribuição ao estudo do peneiramento vibratório operando com redução de pressão na região de secagem da tela. *Dissertação (Mestrado)*. Uberlândia - MG. Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, 2018.