

## Medição do consumo de energia em um fluidizador líquido-sólido em função da carga fluidizada

## Measurement of energy consumption in a solid-liquid fluidization in function of the fluidized load

### RESUMO

A fluidização é uma operação unitária que compõe diversos processos químicos. Em todos os casos a utilização de bombas ou compressores é fundamental. Este trabalho relaciona duas variáveis importantes deste processo, a potência consumida pela bomba com a massa fluidizada. Por meio de um sistema fechado com recirculação de água foi medido os dados necessários para o cálculo da potência consumida. Obteve-se como resultado duas relações básicas: Linear e polinomial. Para este estudo a função polinomial representou melhor a relação potência consumida x massa fluidizada, facilitando uma possível análise de eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluidização. Potência consumida. Massa fluidizada.

### ABSTRACT

Fluidization is a unit operation that is widely used in various chemical processes. Pumps and compressors are used in all cases. The present work links the power consumed to the fluidized load, two important variables of the fluidization. Using a sealed system with water recirculation was measured the necessary values to the power consumed calculation. as a result was obtained two basic relations: Linear and polynomial. in this study the polynomial function better represents the proposed relation between the power consumed and the fluidized load that facilitate a possible analysis of efficiency.

**KEYWORDS:** Fluidization. Power consumed. Fluidized load.

**Victor Diamantino Marques**  
[marques.victor40@gmail.com](mailto:marques.victor40@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Ponta grossa, Paraná, Brasil

**Prof. Dr. Everton Moraes Matos**  
[evertonmmatos@gmail.com](mailto:evertonmmatos@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Os processos industriais são compostos por etapas ordenadas de maneira a formar o produto desejado, as operações unitárias. A busca pela eficiência na produção industrial é motivo, desde muito tempo, para o surgimento do interesse de compreender e manipular tais etapas, no intuito de analisar os aspectos que influenciam no consumo e no rendimento de um processo. Neste trabalho, foi feito um estudo sobre a fluidização e suas variáveis de processo, de modo a buscar relações que ajudam na interpretação de dados experimentais.

Entende-se por fluidização a disposição de partículas suspensas e distanciadas entre si quando submetidas ao escoamento da fase fluida. As altas taxas de transferência de calor e massa, que são desejadas na maioria dos processos é obtida com a fluidização, abrindo assim um leque de aplicações em diferentes segmentos da indústria química, como por exemplo, reações catalíticas, combustão e gaseificação de carvão. Mas os leitos fluidizados também são utilizados em processos físicos, com objetivos de recobrimento de sólidos e secagem de partículas [1].

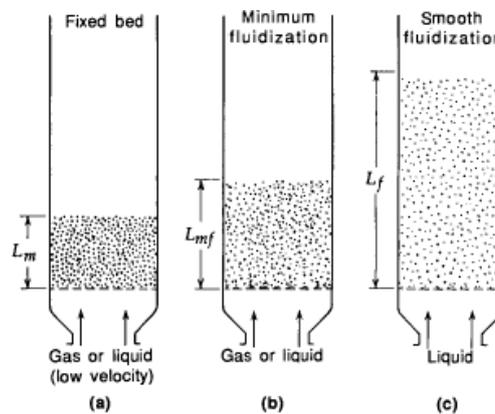
Este método de interação entre as partículas possui regimes característicos que são categorizados em relação a velocidade superficial da fase fluida. Se é passado um fluido com fluxo ascendente em baixa velocidade (consequentemente baixa vazão) através do leito de partículas, este fluido irá apenas preencher os espaços vazios do leito estacionário, este regime é chamado de leito fixo (figura 1.a). O regime de leito expandido é obtido com um pequeno aumento da velocidade do fluido, quando em certas regiões observa-se um movimento sutil das partículas [2].

Numa velocidade um pouco maior, em que todas as partículas do leito estão suspensas apenas pela força do fluxo ascendente, obtêm-se um leito em mínima fluidização (figura 1.b). Neste ponto, a força da massa do leito particulado está contrabalanceada com a força do fluxo. A diferença de pressão neste ponto se torna constante [2].

Em sistemas sólido-líquido o aumento da velocidade acima do ponto de mínima fluidização frequentemente resulta em uma expansão progressiva e suave do leito. As instabilidades do fluxo são amortecidas e permanecem pequenas. Este tipo de leito recebe o nome de leito suavemente fluidizado ou leito homoganeamente fluidizado (figura 1.c) [2].

Afim de analisar o consumo de energia realizado pela bomba em diferentes estágios da fluidização, utilizou-se uma correlação fornecida por um fabricante de bombas que relaciona a potência consumida com a eficiência total da bomba, vazão de escoamento e diferença de pressão.

Figura 1 : Tipos de leito fluidizado.



Fonte: *Fluidization Engineering*.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo em questão utilizamos um fluidizador com diâmetro interno de 0,1431 m, e externo de 0,1478 m, além de uma altura de 0,29 m. O aparelho possui duas peneiras, uma localizada no topo e outra para a limitação do leito distanciada da base de 0,027m. Foram feitos diversos testes para a escolha do grão componente da massa fluidizada. Analisou-se grãos de arroz, lentilha e painço. O sólido que melhor se adaptou ao sistema foi o grão de lentilha. Sua densidade é de aproximadamente  $1375 \text{ kg/m}^3$ [3]. E a fase fluida é a água em temperatura ambiente, de densidade aproximada  $997 \text{ kg/m}^3$ .

Para a circulação da fase fluida no sistema foi utilizada uma bomba centrífuga CP80 e a tubulação foi composta por mangueiras reforçadas com diâmetro de  $\frac{1}{2}$  polegada. O medidor de pressão utilizado foi um manômetro reto, Emmeti, com faixa de medição de 0-10 bar, juntamente com um medidor de vazão digital K24. Após a seleção dos materiais, fez-se a montagem do sistema. Os medidores de pressão e vazão foram colocados na saída da bomba, e a válvula de esfera para regulagem manual da vazão foi posicionada entre os medidores. O fluidizador foi apoiado no nível do reservatório para facilitar a recirculação de água no sistema.

Foram pesadas separadamente três massas de grãos de lentilha, todas com o valor de 30g. O primeiro processo foi feito com a massa de 30g (M1). Colocou-se os grãos na base do fluidizador, e a bomba foi ligada. Primeiramente mediu-se a pressão e vazão para o estado de leito fixo. Depois aumentou-se a vazão para o estado de fluidização, e posteriormente para o estado de fluidização turbulenta. O procedimento se repetiu para as massas de 60g (M2) e 90g (M3). Para fins de cálculo, consideramos o ponto 1, a entrada da bomba, e o ponto 2, a saída da bomba, e a diferença de altura entre eles é aproximadamente zero. Consideramos ainda que a pressão no ponto 1 é igual a pressão no reservatório, e a velocidade no ponto 1 é nula.

Primeiramente, foram feitas as devidas conversões para o Sistema Internacional de Unidades (SI). Após, os dados obtidos serviram para a construção de gráficos de comparação. Os cálculos básicos foram feitos em Excel.

A velocidade real foi obtida por meio da definição:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão volumétrica, e A = área de seção reta do tubo.

Para calcular a perda de carga teórica utilizou-se a equação de Bernoulli, que tem a seguinte forma:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_p \quad (2)$$

Onde:  $\gamma = \rho g$

Da equação (2), fazendo as considerações, obtemos:

$$h_p = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

Afim de avaliar o consumo da bomba no sistema, calculou-se a potência consumida (equação 4) em kW. Considerando a eficiência média de bombas industriais de 0,75, foi utilizada a fórmula fornecida pela MaxHydro:

$$Pot_c = \frac{\Delta P \cdot Q}{600 \cdot h_t} \quad (4)$$

Onde:  $h_t$  é a eficiência total da bomba.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

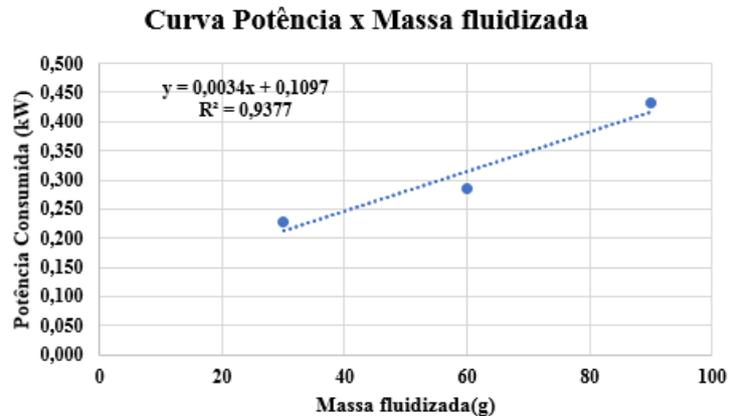
A tabela abaixo representa os resultados obtidos das medições:

Tabela 1 - Dados de perda de carga e potência consumida.

	Leito Fixo		Leito Fluidizado		Fluidização Turbulenta	
	$H_p(m)$	$Pot_c(kW)$	$H_p(m)$	$Pot_c(kW)$	$H_p(m)$	$Pot_c(kW)$
<b>M1</b>	-8,486	0,061	-12,585	0,227	-14,635	0,402
<b>M2</b>	-16,685	0,194	-14,635	0,284	-14,635	0,463
<b>M3</b>	-16,685	0,230	-14,635	0,432	-12,585	0,476

A motivação para este trabalho foi tentar demonstrar graficamente uma relação direta entre a potência consumida pela bomba e a massa fluidizada. Sendo assim, obtivemos duas relações básicas entre essas grandezas. A primeira representação se encontra na forma linear (figura 2), apesar de não representar perfeitamente a relação, para casos específicos ela pode ser aplicada. A equação linear obteve um  $R^2$  igual a 0,9377, significando que a representação na forma linear carrega consigo um erro considerável.

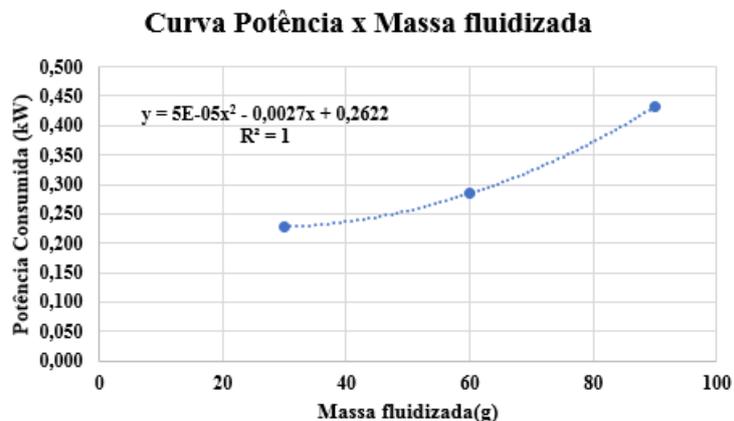
Figura 2: Gráfico da relação linear Potência x Massa fluidizada



Fonte: Autoria Própria

A segunda representação gráfica é na forma polinomial (figura 3). A equação do segundo grau obteve um  $R^2$  igual a 1, o que significa que a representação dessa curva é muito eficiente. Neste estudo, a potência aumentou de acordo com o aumento da massa. Porém, o aumento da potência consumida quando há pouca massa fluidizada pode ser explicado pelo funcionamento da bomba. Usualmente, motores elétricos são projetados para operar em sua capacidade máxima, portanto, se o equipamento funciona muito abaixo de sua carga teórica total o resultado é um consumo mais alto de energia.

Figura 3: Gráfico da relação polinomial Potência x Massa fluidizada



Fonte: Autoria Própria

## CONCLUSÃO

Buscar uma relação potência-massa fluidizada pode ser de grande ajuda para trabalhos futuros, além da possibilidade de encontrar uma configuração onde a fluidização ocorra de maneira satisfatória, e o consumo de energia seja o menor possível, para uma certa massa. Concluímos então, que a equação polinomial de segundo grau representa melhor a relação proposta no início do estudo, alcançando o objetivo do trabalho.

A princípio esperava-se que a forma linear obtivesse o melhor resultado, porém ao levar em consideração o estado de operação do equipamento, uma curva parabólica se encaixa nos resultados. Confirmando que o funcionamento com baixas cargas faz com que o motor elétrico gaste mais energia.

## REFERÊNCIAS

- [1] CREMASCO, M.A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. Blucher, p.265, 2012.
- [2] KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. **Fluidization Engineering**. 2<sup>o</sup> Ed., Butterworth-Heinemann, p.1, 1991.
- [3] DE MELO, J.C.S. **Transporte de Calor e Massa em Sólidos Esferoidais Oblatos Via Termodinâmica dos Processos Irreversíveis – Estudo de Caso: Secagem de Lentilha**. 2013. Disponível em <  
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2073> > Acesso em 17/07/2019. p. 330.