

AVALIAÇÃO DA FLUIDIZAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO E SÓLIDO-GÁS

KRELING, O. L. *, CARVALHO, A. C., CARVALHO, M. L. D., GOMES, M. L.,
SANTOS, I. A. C., SOARES, G. V..

Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química

E-mail: *okssanakreling.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO – Leitões fluidizados descrevem as condições de partículas em suspensão total, de modo que a suspensão adquire comportamento de um fluido denso. A formação de um leito fluidizado se dá a partir do momento que um fluido inicia o percurso por entre um leito material de forma que ocorra uma fluidização. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter as curvas características de fluidização para um leito fluidizado a água constituída por partículas de pedregulho fino e para um leito fluidizado a ar constituído por partículas de areia de baixa granulometria. Com os experimentos foi possível determinar uma queda de pressão de valor nos leitões fluidizados para diferentes vazões dos fluidos, foi obtido uma expansão dos leitões de 5,3 cm para o pedregulho fino e 7,5 cm para a areia. Também foram obtidas as quedas de pressão máxima nos leitões fluidizados e as velocidades de mínima fluidização, e determinada a porosidade dos leitões fluidizados na mínima fluidização. Sendo obtidas, a queda de pressão em mínima fluidização de 6661,5893, a porosidade mínima de fluidização de 0,9717 e velocidade mínima de 0,5360 para o pedregulho fino. E a queda de pressão em mínima fluidização de 3996,95, a porosidade mínima de fluidização de 0,37136 e velocidade mínima de 0,00956 para areia.

INTRODUÇÃO

A fluidização é um método utilizado para manter partículas sólidas em suspensão em um escoamento ascendente de gás ou líquido. O processo se dá quando o fluxo ascendente de fluido escoar através de um leito de partículas e adquire velocidade suficiente para manter as partículas em suspensão, sem que sejam arrastadas, junto com o fluido (FOUST, 1982).

Os regimes fluidodinâmicos se moldam a partir das características físicas da partícula a ser utilizada, como sua granulometria, diâmetro, porosidade e massa específica. As características do fluido como viscosidade dinâmica e massa específica

também interferem no regime fluidodinâmico (CREMASCO, 2014).

A principal vantagem é a agitação vigorosa do sólido em contato com o fluido que escoar pelo leito. A mistura do sólido proporciona uma uniformidade na temperatura, mesmo em processos endotérmicos ou exotérmicos. As taxas de transferência de calor e massa entre fluido e sólido são altas neste tipo de operação (MASSARANI, 2002).

Dentre as dificuldades associadas à operação pode-se destacar o problema de abrasão que ocorre na interação do material sólido com os internos do leito. Outro problema é o arraste, que pode gerar uma eventual perda do material mais fino no

processo. Por conta disso, pode se fazer necessária a utilização de sistemas de ciclones, filtros e outros equipamentos para a retenção do particulado (MASSARANI, 2002).

Tendo em vista as principais características da fluidização, o presente trabalho visa obter as curvas características de fluidização para um leito fluidizado a água constituído por partículas de pedregulho fino e para um leito fluidizado a ar constituído por partículas de areia de baixa granulometria.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o processo de fluidização foram necessários dois módulos didáticos, sendo um deles apresentando um leito de sólidos particulados de pedregulho fino de elevada granulometria, e o outro areia de baixa granulometria; além de sistemas de direcionamento e controle de vazão, e sistemas de medição da pressão nos leitos por manometria de tubo em U.

O processo para o pedregulho fino, sendo a água seu efluente, foi iniciado direcionando-se, a partir do sistema de válvulas de esfera, o fluxo do fluido para o leito de sólidos. Em seguida, com o auxílio da válvula gaveta e da leitura do rotâmetro, a vazão do fluido foi aumentada gradativamente, sendo utilizadas 10 vazões, com início em 1 L/min, até 10 L/min. Para cada aumento de vazão, obteve-se a queda de pressão do leito, a partir da leitura do manômetro de tubo em U, e da altura do leito de sólidos. Esse procedimento foi realizado até que o leito de sólidos atingisse sua capacidade máxima, não alcançando o estado de transporte pneumático.

O mesmo procedimento é realizado para a areia, porém com diferentes medições de vazão, iniciando-se em 4 L/min, até 28 L/min, totalizando 12 medições.

METODOLOGIA DE CÁLCULO

Com a finalidade de obter as velocidades das partículas no leito de fluidização, foram aplicadas as respectivas equações, relacionando a área da seção transversal do equipamento e logo após com a vazão utilizada no experimento.

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (1)$$

$$q = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Para determinação da variação da pressão durante o experimento, foram analisados os manômetros contidos no equipamento, obtendo a altura do mesmo, assim relacionando com a gravidade e com massa específica dos fluidos utilizados.

$$\Delta P = (\rho_s - \rho_{fluido}) \times g \times \Delta H \quad (3)$$

A queda de pressão em mínima fluidização foi obtida relacionando a gravidade, massa das partículas envolvidas e a área do leito do experimento, de acordo com a equação 1.

$$\Delta P_{mf} = \frac{g \times m_{particulas}}{A} \quad (4)$$

A fim de identificar a porosidade das partículas de pedregulho grosso e areia fina, utilizou-se a equação 5, para determinação da massa específica aparente e logo após a equação 6, para determinação da porosidade teórica.

$$\rho_{aparente} = \frac{m_{particulas}}{V} \quad (5)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{aparente}}{\rho_{real}} \quad (6)$$

Para identificação da porosidade mínima de fluidização utilizou-se a equação 7, relacionando a perda de carga mínima para fluidização, com o comprimento do tubo, gravidade e a massa específica da partícula e do fluido.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta P_{mf}}{H_{mf} \times g \times (\rho_{particula} - \rho_{fluido})} \quad (7)$$

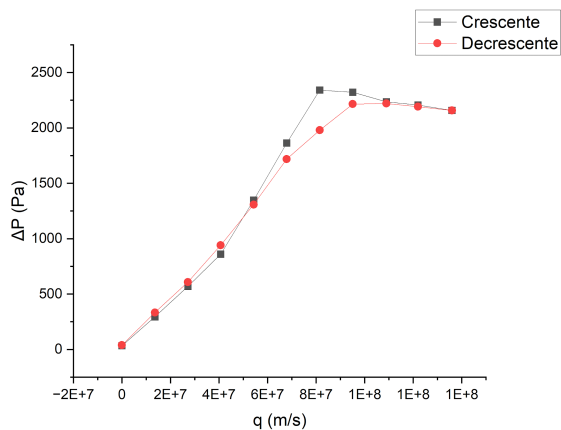
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fluidodinâmica dos leito

A curva característica da fluidização relaciona a queda de pressão, por velocidade

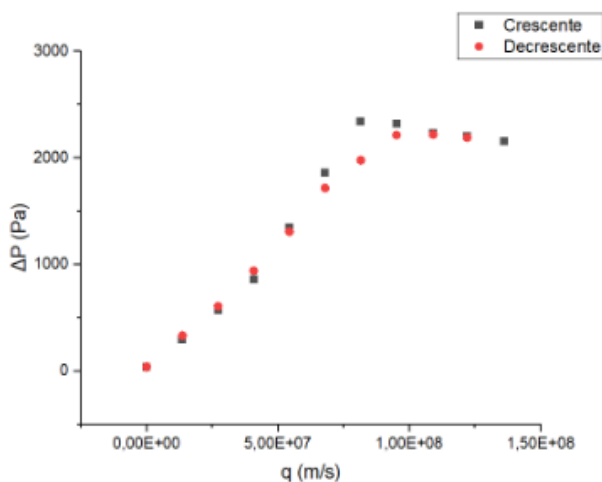
do fluido. O aumento da velocidade do fluido aumenta a queda de pressão, que pode ser calculada utilizando a EQ 3. A figura 1 apresenta a curva da fluidização construída com os dados experimentais.

Figura 1. Curva fluidodinâmica do leito de pedregulho fino.



Fonte: Autores (2022)

Figura 2. Curva fluidodinâmica do leito de areia



Fonte: Autores (2022)

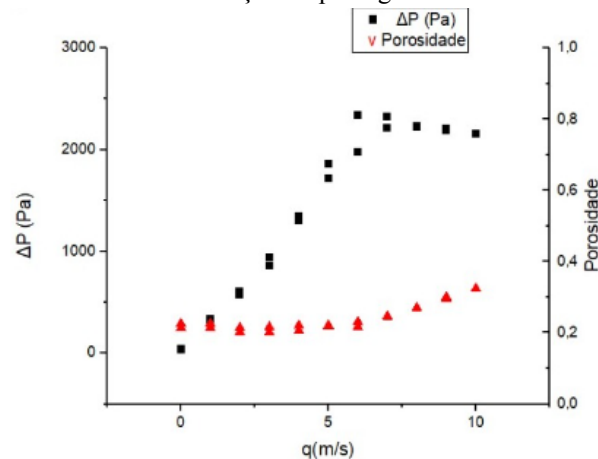
As curvas de fluidodinâmica, apresentadas nas figuras 1 e 2, possuem um comportamento característico. De acordo com a literatura pesquisada, CREMASCO 2012, apresentam um pico nas vazões crescentes, que representam a quebra da inércia das partículas. O valor teórico encontrado nesse ponto, também corresponde ao valor da velocidade mínima de fluidização (q_{mf}), que para os leitos de pedregulho fino e areia de 0,536 e 0,00956 m/s, respectivamente divergindo dos valores encontrados experimentalmente, que foram de 8,15E+7 e

7,5E+7 m/s, essa diferença pode advir dos diferentes métodos utilizados para calcular a velocidade mínima de fluidização (q_{mf}), teórica e experimental. Sendo a teórica calculada a partir da equação de Ergun e a experimental, obtida graficamente.

Porosidade

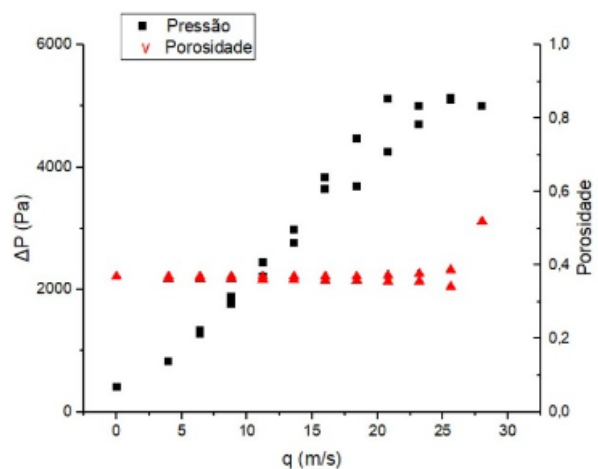
A porosidade representa a fração de vazios contidos no leito, podemos relacionar que quanto maior a esfericidade da partícula, menos poroso será o leito. Nas figuras 3 e 4, apresentam as curvas características pressão e porosidade em função da velocidade na fluidização do pedregulho fino e da areia, respectivamente.

Figura 3. Curva pressão e porosidade em função da velocidade na fluidização do pedregulho fino.



Fonte: Autores (2022)

Figura 4. Curva pressão e porosidade em função da velocidade na fluidização da areia.



Fonte: Autores (2022)

Ao observar os gráficos gerados a partir do ensaio de fluidização nota-se o comportamento característico de fluidização, onde os dois ensaios demonstraram queda de pressão compatível com a encontrada na literatura, como observado por CREMASCO 2012. Já a porosidade, nota-se que no pedregulho grosso a zona de inflexão é menos perceptível, enquanto na areia é exatamente como a curva característica da porosidade em função da velocidade. Em relação à porosidade mínima de fluidização (ϵ_{mf}) para o leito de pedregulho fino houve uma divergência nos valores experimental e teórico sendo eles de 0,9717 e 0,2256, tal divergência pode ter ocorrido por algum erro experimental tal como uma formação de bolhas no interior do leito ou caracterização errônea da partícula que apresentou massa específica discrepante de 2673,5 kg/m³ para massa específica real e de 496,0 kg/m³ para a massa específica aparente. Já os valores apresentaram uma coerência sendo ϵ_{mf} teoria e experimental de 0,3714 e 0,3716, respectivamente.

CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios foi possível determinar a velocidade mínima de fluidização que foram de 8,15E+7 e 7,5E+7 m/s, para os leitos de pedregulho fino e areia, respectivamente, que ao ser confrontada com a teórica (calculada com as equações e dados apresentados), divergiu, onde para o leito de pedregulho grosso de 0,536 m/s e 0,00956 m/s para o leito de areia, resultados. Porém ao observar os gráficos apresentados para cada leito, notou-se curva característica. Para a porosidade valor teórico encontrado nesse ponto, também corresponde ao valor da velocidade mínima de fluidização (q_{mf}), que para os leitos de pedregulho fino e areia de 0,536 e 0,00956 m/s, respectivamente, e o gráfico da mesma forma apresentou curva característica adequada com a encontrada na literatura onde observa-se que no leito de pedregulho grosso a zona de inflexão é menos perceptível, enquanto na areia é exatamente como a curva característica da porosidade em função da velocidade.

NOMENCLATURA

A	Área	[m ²]
d	Diâmetro	[m]

g	Aceleração da gravidade	[m]/[s ²]
ρ	Massa específica do fluido	[kg]/[m ³]
ρ_s	Massa específica da partícula	[kg]/[m ³]
m	Massa	[Kg]
Q	Vazão	[m][L]/[min]
H	Altura	[m]
ΔP	Variação da pressão	[Pa]
ΔP_{mf}	Variação da pressão mínima para fluidização	[Pa]
ϵ	Porosidade	

REFERÊNCIAS

- CREMASCO, Marco A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidodinâmicos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- FOUST, A. and Clump, C.W. (1982) **Principles of Unit Operations**. 2a Edition, LTC, Guanabara Dois, Rio de Janeiro.
- MASSARANI, G., **Fluidodinâmica em Sistemas Particulados**, Editora UFRJ, Rio de Janeiro (2002).