

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROPOSTA DE APARATO EXPERIMENTAL PARA ESCOAMENTO EM LEITO FIXO POROSO

Luiz Felipe Vaz Ferry, luiz.ferry@itec.ufpa.br¹
Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹
Miriam Lys de Almeida Gemaque, lysgmak@hotmail.com¹
Fábio da Silva Barros, fabioaarros@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Correa, s/n – 66075-900 – Belém – Pará

Resumo: Diversos estudos sobre escoamentos em leito fixo poroso são realizados e largamente encontrados na literatura com diversas aplicações. Entre os diversos efeitos provocados pela dinâmica do escoamento sobre o leito poroso, tem-se o fenômeno da perda de carga provocada pelo tipo de leito. O presente trabalho se propõe a descrever a construção e a validação de um aparato experimental para o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o escoamento de ar sobre meio poroso. O equipamento proposto reflete a estrutura de um reator de corrente ascendente utilizado no processo de gaseificação de biomassas amazônicas. Valendo-se de uma estrutura dotada de instrumentos básicos de medição e um ventilador elétrico para a geração da corrente de ar no interior do modelo proposto. A proposta do aparato visa contribuir com uma instalação capaz de fornecer com confiabilidade, resultados para avaliar os parâmetros qualitativos e quantitativos que descrevem o comportamento da perda de carga sobre biomassas de diferentes configurações geométricas e tamanhos. Como resultados, tem-se o aparato com seu desenho e validação, tem-se uma análise da aplicação da equação clássica proposta por Ergun para perda de carga, a qual apresenta um desvio quando utilizada em estruturas rugosas. O aparato desenvolvido também se mostrou viável para coleta de dados a serem usados em estudos para a melhor compreensão do comportamento do escoamento e a consequente otimização do processo de gaseificação da biomassa amazônica. A validação do aparato foi feita pela coleta e comparação de dados sobre as características básicas do fluxo de ar e do padrão clássico encontrado na literatura de escoamento sobre esferas lisas, demonstrando boa concordância.

Palavras-chave: meio poroso, leito fixo, escoamento, Ergun

1. INTRODUÇÃO

Em dinâmica de fluidos, existem diversos fenômenos que fomentam linhas de pesquisa devido às diversas aplicações existentes e seus respectivos desafios quanto a otimização de parâmetros. O escoamento sobre meio poroso é inserido nesse contexto por apresentar comportamento singular, evidenciado por incoerências entre previsões de modelos matemáticos clássicos e dados experimentais. Constitui um leito fixo poroso, determinada massa de partículas, a qual incididas das tensões cisalhantes do escoamento não sofrem arrasto no sentido do fluxo à qual fazem oposição.

Visando obter maior eficiência nos processos que envolvem escoamentos em leito fixo poroso, nota-se que é indispensável a avaliação de determinados parâmetros que descrevem a qualidade e a quantidade da matéria prima no processo. Como por exemplo, a gaseificação de biomassa para produção de gás combustível é um processo que envolve escoamento em meio poroso, no qual a massa dentro do reator compõe o leito fixo. As dimensões características do leito que se opõe ao escoamento influenciam diretamente na perda de carga, isto é, na queda de pressão do fluxo de ar, o que altera o regime do escoamento Sharma (2007).

Keyser et. al. (2006) avaliando o efeito da queda de pressão e da distribuição do fluxo de gás através de um arranjo em camadas de carvão, demonstra que os pontos previstos pela equação de Ergun (1952) para perda de carga se desviam dos dados reais quando as dimensões das partículas se tornam relativamente grandes. Neste caso a redução real da pressão excede a prevista analiticamente na equação clássica.

Avaliando a discrepância da perda de carga entre a solução analítica e a coleta efetiva de dados em simulação experimental como dependente da rugosidade, do arranjo de empacotamento e da distribuição das dimensões de partículas que compõe o leito, Allen et. al. (2013) infere uma restrição à aplicação da equação de Ergun para determinadas faixas de grandeza dos fatores em questão que caracterizam o meio poroso. Adotando um aparato experimental montado

horizontalmente em túnel de vento com vazão mássica de 0,02 kg/s e seção de teste de (300x260x260) mm para o leito empacotado de modo randômico.

O estudo experimental de Li e Ma (2011) para determinar as características da perda de carga em meio poroso e avaliar a aplicabilidade da equação de Ergun em leito fixo de partículas não esféricas, vale-se de um aparato desenvolvido especificamente para escoamento em meios porosos disposto verticalmente que operando em *loop* com escoamento de uma fase ou ainda bifásico água - ar. Apresenta resultados satisfatórios quando na comparação de dados de perda de carga para um parecer restritivo à solução matemática encontrada na literatura.

Os procedimentos experimentais mostram-se fundamentais na avaliação da perda de carga em leito fixo poroso como aponta Cruz et. al. (2013) obedecendo os parâmetros reais de operação e controle de um gaseificador de corrente ascendente a qual os experimentos remontam. A metodologia trabalhada consiste na coleta dos dados de perda de carga à diferentes alturas do leito, que é subdividido em unidades cuja extensão equivale a metade do diâmetro de um tubo PVC variando de 0,5 D até 3,5 D, simulando o fluxo dentro do reator em túnel de vento horizontal. O desenvolvimento e aplicação de um aparato experimental possibilitou uma satisfatória análise comparativa de informações experimentais e analíticas.

Este trabalho propõe uma estrutura que desenvolvida, viabiliza a coleta de dados confiáveis sobre a perda de carga dos escoamentos em meio poroso. A complexidade do padrão de escoamento e de suas variáveis foge da solução analítica para predição de perda de carga, sugerindo uma equação empírica ou semi-empírica para predição de perda de carga como uma alternativa. Desta maneira nota-se a importância do desenvolvimento de pesquisas experimentais que viabilizem o estudo do comportamento do fluxo de ar sobre o meio poroso, correlacionando os resultados experimentais para refinar soluções analíticas de modelos matemáticos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aparato Experimental

A estrutura do aparato experimental foi primeiramente concebida e projetada com auxílio de software CAD para melhor visualização e adaptação prévia do projeto. Com o objetivo de desenvolver uma estrutura capaz de simular um reator de gaseificação de fluxo ascendente, foi utilizado um tubo PVC de seção circular de 15 cm de diâmetro apoiado verticalmente em estrutura metálica simples para estabelecer o leito poroso e obter as medições. A fim de se obter um comportamento menos turbulento, foi construído uma colmeia de 10 cm de altura e fixada na extremidade superior do tubo. Para gerar o fluxo de ar, um ventilador criando corrente por sucção foi acoplado a extremidade inferior do tubo e um inversor de frequência conectado ao motor do ventilador para controlar e determinar as diferentes vazões de ar sobre o leito poroso. O ventilador é do tipo radial solidário ao eixo do motor elétrico de 5 cv com rotação máxima de 3500 RPM do fabricante WEG, o qual é controlado por um inversor de frequência TOSHIBA com faixa de 0 a 60 Hz de saída para o motor.

Como instrumentação utilizou-se um micromanômetro FCO-510 da Furness Control Ltda ligado por capilares a um tubo de pitot para obtenção das medidas de velocidade, e a tomadas de pressão estática na parede do tubo PVC para obtenção das medidas de diferença de pressão antes e depois do leito. Cada tomada de pressão foi posicionada 3,25 cm antes e depois do leito e sete destas construídas ao longo do tubo para análise de leitos variando 7,5 cm de altura, o equivalente à metade do diâmetro do tubo 0,5 D.

2.1.1 Micromanômetro

Para obtenção dos valores da queda de pressão e da velocidade utilizou-se o micromanômetro de bancada digital FCO510 com faixa de leitura de 0,01 a 9999,99 Pa mostrado na “Fig. 1”. Conectado por tubos capilares de silicone às tomadas de pressão do tubo PVC e ao tubo de pitot posicionado 12 cm acima do leito. A aquisição de dados para o computador foi realizada através de uma porta serial RS-232 e transmitida através do programa FC487 Datalogger Versão: 2.1.0. Os dados foram salvos em arquivos na extensão .xls.



Figura 1. Micromanômetro Digital de Bancada FCO510 – Furness Control Ltda.

3. VALIDAÇÃO DO APARATO

Para validar a estrutura, foram obtidos os perfis de velocidade para determinação de uma velocidade média e a queda de pressão no interior do tubo sem leito e com leito de esferas lisas apoiadas sobre uma grelha de aço desenhada para separar e sustentar o leito. Os testes com leito de esferas lisas foram feitos para alturas equivalentes a 0,5D e 1,0D. Os dados obtidos foram comparados com os dados da Equação de Ergun para predição analítica de perda de carga de escoamentos em meios porosos.

3.1 Perfis de Velocidade e Perda de Carga

Os perfis de velocidade foram obtidos a partir da coleta de 500 amostras de velocidade para cada ponto ao longo de 13 pontos do diâmetro do reator, distantes 1 cm entre si e 1,5 cm das paredes do tubo PVC nos pontos extremos devido as limitações de geometria do tubo de pitot. A partir da média de cada ponto obteve-se o perfil de velocidade com e sem o leito de esferas lisas.

Para a perda de carga foram obtidas 200 amostras da diferença de pressão a partir das tomadas alocadas 3,25 cm antes e depois do leito para cada velocidade média e calculada a partir do valor médio das amostras.

3.2 Equação de Ergun

Ergun (1952) desenvolveu uma equação, Eq. (1), anexando as equações de Carman (1937) – Kozeny (1927) e Blake Plummer (1928) na forma da equação clássica de Forchheimer (1901), de modo a obter uma previsão matemática para a perda de carga abrangendo todos os regimes de escoamentos.

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu U}{D_p^2} + 1,75 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{\rho U^2}{D_p} \quad (1)$$

Onde:

- ε : porosidade
- ρ : massa específica do fluido
- D_p : diâmetro da partícula
- U : velocidade
- μ : viscosidade dinâmica do fluido
- $\frac{\Delta P}{L}$: perda de carga em unidade de pressão por unidade de comprimento

A equação de Ergun também pode ser escrita em sua forma adimensional, em função do fator de atrito f_p e número de Reynolds da partícula Re_p como mostram a “Eq. 2” e “Eq. 3”.

$$f_p = 1,75 + \frac{150(1-\varepsilon)}{Re_p} = \frac{\Delta P D_p}{\rho L U^2} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)} \quad (2)$$

$$Re_p = \frac{\rho U D_p}{\mu} \quad (3)$$

A porosidade, que é a relação adimensional entre o volume do reator e o volume vazio, é definida na “Eq. 4”.

$$\varepsilon = \frac{V_{vazio}}{V_{reator}} = \frac{V_{reator} - V_{leito}}{V_{reator}} \quad (4)$$

Onde V_{leito} é o volume ocupado pelo leito dentro do reator e é obtido pela relação entre a massa do leito e a massa da partícula com o volume da partícula através da “Eq. 5”

$$V_{leito} = V_{particula} \frac{M_{leito}}{m_{particula}} \quad (5)$$

4. RESULTADOS

4.1 Aparato

O aparato foi construído e instalado em disposição vertical conforme o croqui apresentado na “Fig. 2”. O desenvolvimento, construção e experimentos de validação foram realizados nas dependências do grupo de Energia Biomassa e Meio Ambiente – EBMA do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

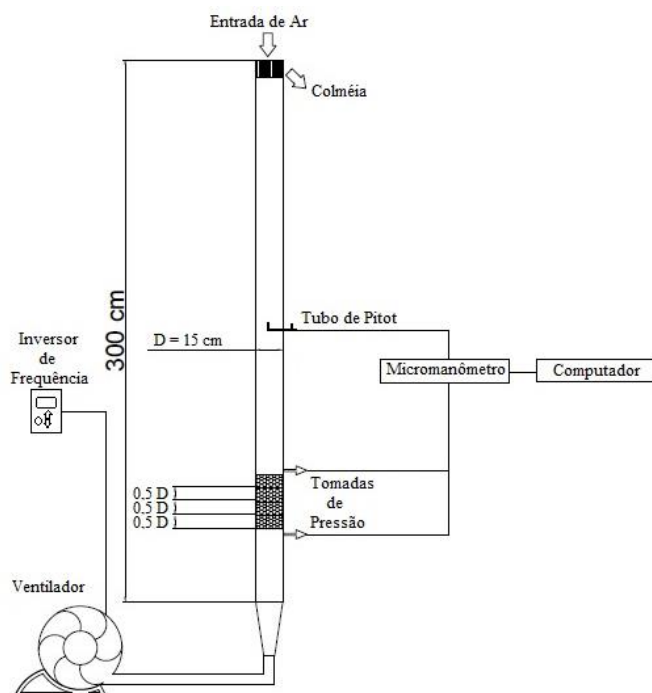


Figura 2. Croqui do aparato experimental
Autoria própria

4.2 Perfis de velocidade

Os perfis de velocidade obtidos mostraram coerência com os padrões clássicos da literatura e não demonstraram desvios significantes na relação entre a velocidade média e a velocidade máxima quando obtidos com o leito de esferas lisas. A razão entre as velocidades médias e as velocidades máximas variou de 84% a 88%. Nota-se que para menores vazões há maior influência do leito fixo poroso no perfil de velocidade.

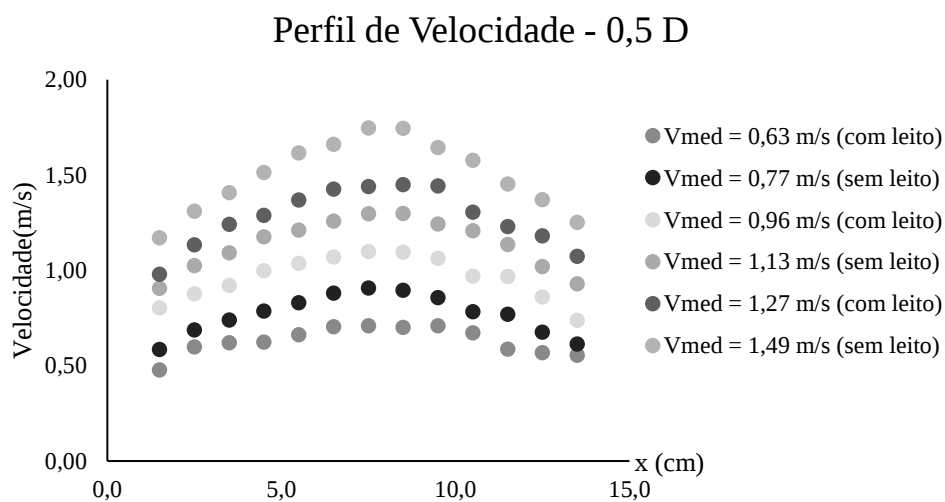


Figura 3. “Perfil de velocidade – Leito 0,5 D”

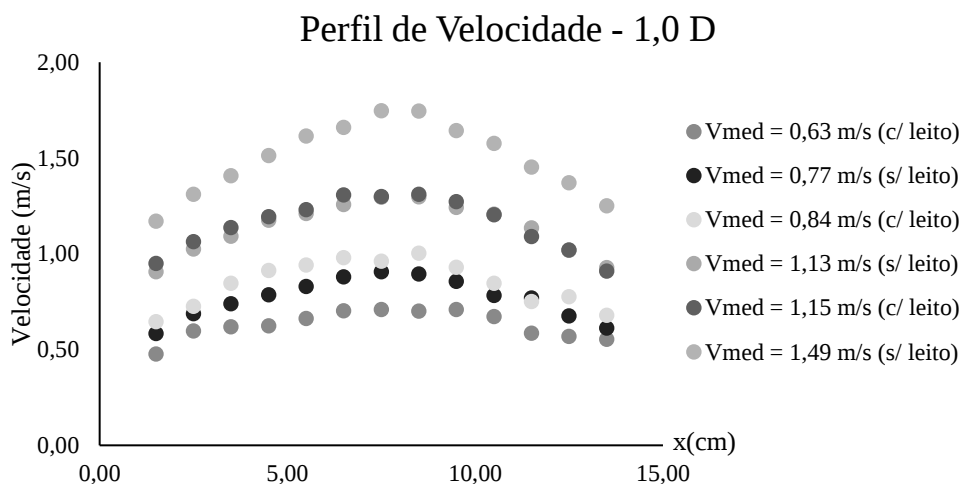


Figura 4. “Perfil de velocidade – Leito 1,0 D”

4.3 Perda de Carga

As curvas de perda de carga versus velocidade experimentais mostraram-se inferiores às curvas analíticas previstas na Equação de Ergun, o que evidencia consistência com o comportamento de escoamentos em meios porosos. Os resultados também são expressos em função do fator de atrito adimensional versus o número de Reynolds da partícula.

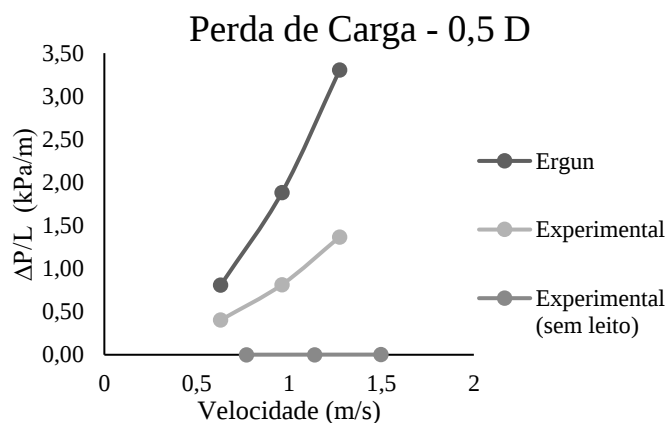


Figura 5. “Perda de Carga – Leito 0,5 D”

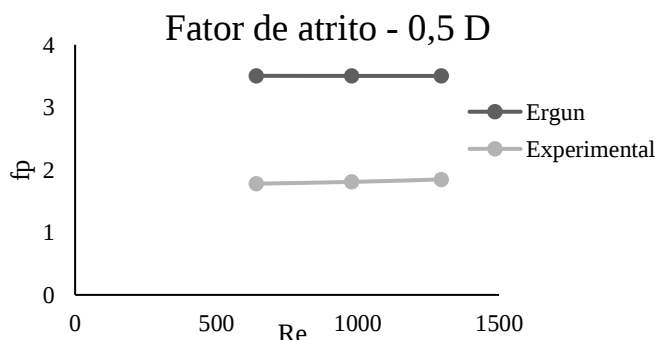


Figura 6. “Fator de Atrito – Leito 0,5 D”

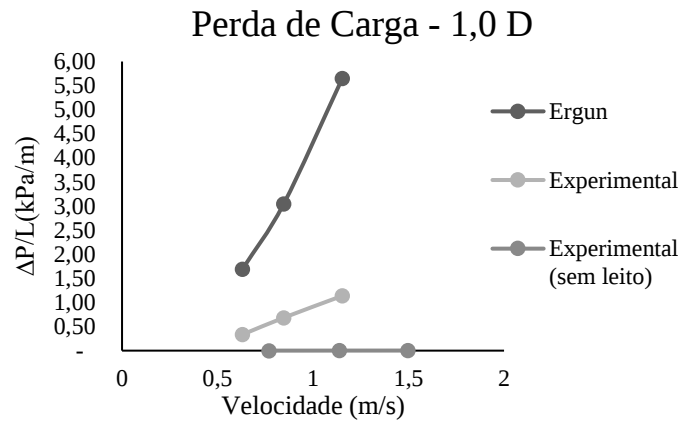


Figura 7. “Perda de Carga – Leito 1,0 D”

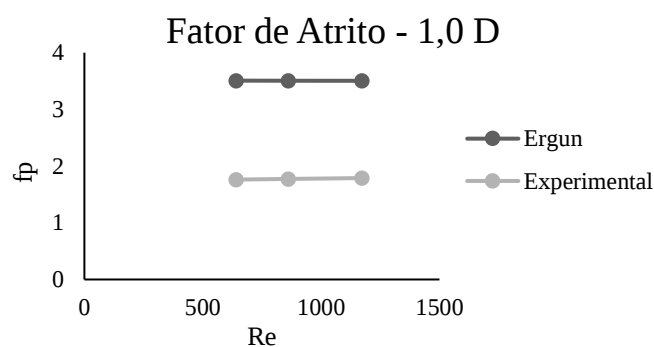


Figura 8. “Fator de Atrito – Leito 1,0 D”

Os resultados obtidos apontam compatibilidade com o comportamento de influência da altura do leito no fenômeno da perda de carga em meios porosos ainda que em avaliação de pequena população de dados de velocidades.

5. CONCLUSÕES

A construção e validação do aparato experimental ocorreu de maneira satisfatória, fornecendo dados consistentes e atingindo o objetivo de se obter uma estrutura capaz de simular experimentalmente o escoamento em leitos fixos porosos para estudos de perda de carga e seus fatores de influência. Os dados experimentais são preliminares, para a validação do aparato. Uma campanha experimental maior é prevista.

Os dados obtidos apontam um comportamento regular para diferentes faixas de velocidade em escoamento livre dentro do duto e em escoamento sobre o leito poroso o qual se deseja. Infere-se desta maneira que a instalação é adequada para o desenvolvimento de pesquisas sobre leitos sólidos de diversas composições.

6. REFERÊNCIAS

- Allen, K. G., von Backström T. W., Kröger, D. G., 2013, “Packed bed pressure drop dependence on particle shape size distribution, packing arrangement and roughness”, Powder Technology, Vol. 246, pp. 590-600.
- Cruz, R. B., Guerra, D. R. S., Azevedo, T. L., 2013, “Evaluation of pressure drop in flow over fixed porous bed”, Thermal Engineering, Vol. 13, pp; 42-47.
- Ergun, S., 1952, Fluid Flow Through Packed Columns, Chemical Engineering Progress, Vol. 48, No. 2, pp. 89-94.
- Keyser, M. J., Conradie, M., Coertzen, M., Van Dyk, J. C., 2006, “Effect of coal particle size distribution on packed bed pressure drop and gas flow distribution”, Fuel, Vol. 85, pp. 1439-1445.
- Li, L., Ma, W., 2011, “Experimental Study on the Effective Particle Diameter of a Packed Bed with Non-Spherical Particles”, Transport in Porous Media, Vol. 89, pp. 35-48.
- Sharma, K. A., 2007, “Modeling fluid and heat transport in the reactive, porous bed of downdraft (biomass) gasifier”, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 28, pp. 1518-1530.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EXPERIMENTAL FACILITY PROPOSAL FOR FLOW OVER POROUS FIXED BED

Luiz Felipe Vaz Ferry, luiz.ferry@itec.ufpa.br¹
Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹
Miriam Lys de Almeida Gemaque, lysgmak@hotmail.com¹
Fábio da Silva Barros, fabiobaarros@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Correa, s/n – 66075-900 – Belém – Pará

Abstract: Many studies of flow in porous fixed bed are conducted and widely reported in the literature with several applications. Among the several effects caused by the flow dynamics of the porous bed, there is a pressure drop phenomenon caused by the bed. This paper aims to describe the construction and validation of an experimental apparatus for the development of research about the air flow on the porous medium. The proposed equipment reflects the structure of an upflow reactor used on the amazon biomass gasification process. By using of a structure with basic measuring instruments and an electric fan for create the air stream within the proposed model. The facility proposed aims to contribute with a plant capable of delivering reliably, results to assess the qualitative and quantitative parameters describing the pressure drop behavior of biomasses of different geometric configurations and sizes. As a result, the apparatus has in its design and validation and an application of classical analysis proposed by Ergun equation for pressure drop, which has a deviation when used on porous structures. The apparatus developed was also feasible to collect data to be used in studies for the better understanding of the flow behavior and the consequent optimization of the Amazonian biomass gasification process. The validation of the apparatus was made by data collect and comparison of the basic characteristics of the airflow and the classic pattern found on the flow of smooth spheres literature, showing good agreement.

Keywords: porous media, fixed bed, flow, Ergun.