

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FLUIDODINÂMICO E CINÉTICA DE SECAGEM DE SOJA EM UM SECADOR TIPO LEITO DE JORRO CÔNICO-CILÍNDRICO

ROCHA, T. *, KRELING, O., SANTELLI, M..
Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química
E-mail: *thainarocha.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO – Este artigo tem por objetivo o estudo da cinética de secagem em leito de jorro, bem como da fluidodinâmica do sistema, composto por grãos de soja. Realizou-se a caracterização das partículas de soja a fim de se obter a umidade, massa específica real e bulk, esfericidade, diâmetro de Sauter e porosidade, além de ajustar modelos cinéticos aos dados obtidos. As curvas de secagem foram obtidas através dos teores de água inicial e final de secagem. Através destes ensaios, foi possível determinar um teor de umidade de 33,33%, ρ_{soja} igual a 1,2378 g/cm³, ρ_{bulk} igual a 0,5708 g/cm³, ϕ sendo de 0,7533, D_{ps} igual a 6,6475 mm e ε_{Leito} igual a 0,5388. O modelo de Page foi o que melhor representou os dados obtidos com os valores de D_{ef} igual a 2,84E-05 e 4,48E-05 para as amostragens 1 e 2 respectivamente.

INTRODUÇÃO

De acordo com o site da Embrapa, o Brasil é o maior produtor mundial de soja, com uma produção de 135,409 milhões de toneladas (Embrapa, 2021).

Secagem é uma operação unitária muito aplicada em grãos, inclusive os de soja, para retirada de substâncias voláteis, ocorrendo a transferência de massa e calor concomitantemente. Existindo vários métodos, porém no presente trabalho foi utilizado a de leito de jorro (Freire e Oliveira, 1992).

A caracterização de partículas é importante para entendimento das reações que cada fenômeno causa na operação unitária utilizada.

O leito de jorro é utilizado para uma diversidade de produtos e áreas da engenharia que manipulam amostras irregulares, pesadas e em grande quantidade, que podem ser moldadas por meio do fluxo cíclico criado no

equipamento (Duarte, Murata e Barrozo, 2005).

O leito de jorro e fluidizado possuem as mesmas aplicações, o que muda é a granulometria das partículas utilizadas em cada um, no jorro as amostras são de diâmetros maiores, e o mecanismo de fluxo (MARRETO, 2006).

Esse artigo tem como objetivo determinar características físicas da soja e a partir delas fazer a análise da fluidodinâmica e cinética da secagem através do leito de jorro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente realizou-se a caracterização da amostra de soja a partir de ensaios de picnometria líquida, paquimetria, proveta e peneiramento.

No ensaio de picnometria líquida, executou-se a calibração em duplicata do picnômetro a fim de determinar seu volume

real para dar prosseguimento ao experimento. Em seguida, dois picnômetros foram pesados, depois preenchidos com soja e pesados novamente, por fim os picnômetros foram preenchidos com soja e hexano, e pesados para a determinação da massa específica real da partícula em questão.

O ensaio de paquimetria foi efetuado para determinar a esfericidade do soja, onde mediu-se as dimensões da amostra da partícula com um paquímetro para obter um valor médio de esfericidade, a partir de uma aproximação geométrica de um esferóide.

Já no ensaio de proveta, elaborado em triplicata, pesou-se a massa da amostra de soja e a inseriu em uma proveta de 100mL para determinar sua massa específica bulk e em seguida sua porosidade.

Para análise granulométrica do grão de soja utilizou-se uma série de peneiras Tyler para o ensaio de peneiramento, a fim de determinar seu diâmetro de Sauter.

Para o ensaio de fluidodinâmica utilizou-se o secador de leite de jorro (Figura 1) para determinar os parâmetros ideais para o ensaio de secagem, como queda de pressão máxima, velocidade de mínimo jorro e a pressão para atingir o jorro estável. Dessa forma, inicialmente calibrou-se o equipamento até atingir o jorro estável, onde com o auxílio dos manômetros e a placa de orifício acoplada foi possível determinar a queda de pressão no jorro e a vazão volumétrica, respectivamente.

Figura 1 - Leite de Jorro.



Fonte: Autores, 2022.

Para realização do ensaio de fluidodinâmica utilizando as partículas de soja, pesou-se 1000 gramas do grão e os inseriu no leite, e realizou-se o mesmo procedimento feito na calibração.

Metodologia de Cálculo

A massa específica real da partícula (ρ) é definida pela Equação 1:

$$\rho = \frac{mp}{v} \quad (1)$$

onde mp é a massa da partícula e V é o volume excluindo o volume dos poros (Cremasco, 2012).

A esfericidade foi determinada usando os parâmetros da paquimetria e pela Equação 2.

$$\Phi = \frac{\pi * Deq^2}{Aesf} \quad (2)$$

em que $Aesfera$ é a área da esfera (m^2) e $Aesferóide$ é a área da esferóide (m^2) que é calculada através da Equação 3.

$$Aesf = 2\pi b(b + a \frac{\arcsen(e)}{e}) \quad (3)$$

Para o cálculo do diâmetro equivalente utilizou a Equação 4.

$$Deq = (\frac{6Vesf}{\pi})^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

onde $Vesf$ (m^3) é calculada através da Equação 5.

$$Vesf = \frac{4}{3} \pi ab^2 \quad (5)$$

onde a e b são as dimensões da partícula.

Para o cálculo da queda de pressão no módulo de leite de jorro utilizou-se a Equação 6.

$$\Delta P = (\rho_{ar} - \rho_{\acute{a}gua})g\Delta H_{leito} \quad (6)$$

em que ρ é a massa específica do ar ar (kg/m^3), ρ é a massa específica da água $\acute{a}gua$ (kg/m^3), g gravidade (m/s^2) e ΔH é a *leito* altura do leite (m).

Para o cálculo do Diâmetro de Sauter utilizou-se a Equação 7.

$$D_{ps} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{D_i}} \quad (7)$$

onde x_i é a massa retida pela massa total de soja e D_i é a média das aberturas das peneiras.

A porosidade do leito foi determinada pela Equação 8.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{real}} \quad (8)$$

O modelo de Page foi ajustado pela Equação 9.

$$\frac{X_t - X_e}{X_{to} - X_e} = \exp(-kt^n) \quad (9)$$

na qual, k é a constante de secagem e n é considerado o fator de correção para o tempo (t).

O modelo de Fick apresentado por Kanaan, 2014 foi ajustado pela Equação 10.

$$\frac{X_t - X_e}{X_{to} - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\left(\frac{\pi}{D_{ps}}\right)^2 D_{ef} t\right) \quad (10)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grãos de soja foram caracterizados de acordo com as técnicas especificadas na metodologia experimental. Foram obtidos os dados a seguir.

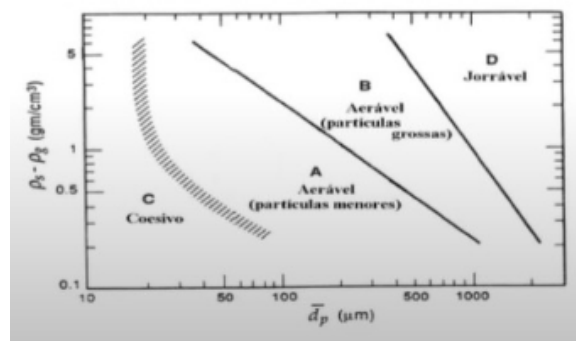
Tabela 1 - Dados da caracterização da amostra.

ρ (g/cm ³)	1,2378
ρ bulk (g/cm ³)	0,5708
Deq (cm)	0,0138
Φ	0,7533
ε	0,0020
Dsauter (mm)	6,6475

Fonte: Autores, 2022.

A partir da caracterização realizada é possível classificar os grãos de acordo com Geldart, representada na Figura 3. Comparando os dados obtidos com a classificação, consegue categorizar como grupo D, partículas jorráveis.

Figura 2 - Classificação de Geldart.



Fonte: Aula LPPI II, 2022.

A umidade da amostra sólida é calculada através da umidade de base seca (UBS) e umidade de base úmida (UBU), onde as mesmas definem a quantidade de água presente no material. As amostras de soja re-umidificadas apresentaram UBU de 30%, após um tempo de secagem de 60 minutos, obteve-se uma UBU de 11%.

Para análise da cinética de secagem, foram utilizados os modelos empíricos de Page e Fick onde apresentaram coeficientes parecidos com os da literatura.

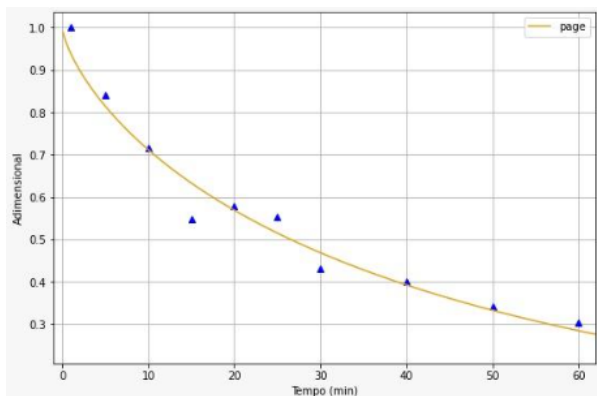
Tabela 2 - Parâmetros dos Modelos de Page e Fick

Parâmetros	Page	Fick
Def	1,8656e-03	-2,0752e-08
k (s-1)	4,1667	-
n	4,4008	-

Fonte: Autores, 2022.

Na Figura 3, está representado pelo comportamento adimensional do teor de água pelo tempo no ajuste do modelo de Page.

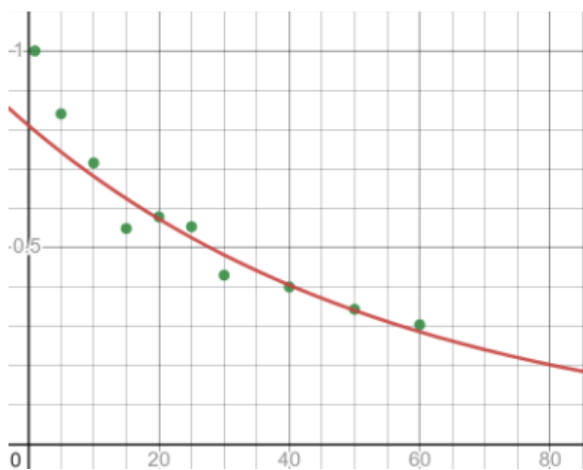
Figura 3 - Gráfico adimensional *versus* tempo ajuste de Page.



Fonte: Autores (2022)

Já na Figura 4, temos a representação do comportamento adimensional do teor de água pelo tempo pelo ajuste do modelo de Fick.

Figura 4 - Gráfico adimensional *versus* tempo ajuste de Fick.



Fonte: Autores, 2022.

Goneli et al. (2009), diz que o coeficiente n é a resistência interna do grão à secagem, ao aumentar a temperatura há uma maior diferença da pressão de vapor do ar e da soja, ocasionando maior remoção de água do sólido.

Também define que o coeficiente k , representa os efeitos externos de secagem e tende a aumentar com a elevação da temperatura.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o experimento não teve resultados satisfatórios no ensaio de caracterização de partícula, pois ao compararmos os ensaios de peneiramento e paquimetria, os valores encontrados são distintos.

Já no ensaio de secagem começamos com umidade de bulbo úmido (UBU) em torno de 31% e finalizamos com 11%. Obtivemos a umidade de equilíbrio de 0,1304 g/g.

Ao ajustar de acordo com os modelos de Page e Fick temos difusividade efetiva de $1,8656E-06$ e $-2,0752E-08$, respectivamente. Porém não foi encontrado literatura com a mesma temperatura de entrada, $75^{\circ}C$, para ser comparado. Recomenda-se que os parâmetros definidos sejam avaliados e o experimento seja realizado novamente de forma mais precisa.

NOMENCLATURA

Sigla	Descrição	Dimensão
A_{esf}	Área do Esferóide	$[L^2]$
a	Raio Maior do Esferóide	$[L]$
b	Raio Menor do Esferóide	$[L]$
Def	Difusividade Efetiva	$[L^2]/[T]$
D_{eq}	Diâmetro Equivalente Média das Aberturas da Peneira	$[L]$
Dps	Diâmetro Médio de Sauter	$[L]$
g	Gravidade	$[L]/[T^2]$
k	Constante de Secagem	$[T^{-1}]$
m_p	Massa da Partícula	$[M]$
n	Fator de Correção	[adimensional]
t	Tempo	$[T]$
V_{esf}	Volume do esferóide	$[M^3]$
X_e	Umidade de Equilíbrio	$[M]/[M]$
x_i	Fração Mássica da Partícula	[adimensional]

X_t	Umidade no Tempo t	[M]/[M]
X_{t0}	Umidade no Tempo Zero	[M]/[M]
ΔH_{leito}	Altura Manométrica do Leito	[L]
ΔP	Queda de Pressão	[M]/[T ²][L]
ε	Porosidade	[adimensional]
v	Volume	[M]
ρ	Massa Específica Real da Partícula	[M]/[L ³]
$\rho_{\acute{a}gua}$	Massa Específica da Água	[M]/[L ³]
ρ_{ar}	Massa Específica do Ar	[M]/[L ³]
ρ_{bulk}	Massa Específica Aparente	[M]/[L ³]
ρ_{real}	Massa Específica Real	[M]/[L ³]
ϕ	Esfericidade	[adimensional]

REFERÊNCIAS

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos**. Ed. Blucher, 2012.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2020/21)**. Londrina - PR, 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 15 de junho de 2022.

FREIRE, J. T.; OLIVEIRA, W. P. **Aspectos tecnológicos dos processos de recobrimento de partículas**. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. Tópicos especiais em secagem. São Carlos: UFSCAR, v. 1, 1992.

GONELI, A. L. D. et al. **Cinética desecagem dos grãos de café descascados em camada delgada**. Revista Brasileira de Armazenamento, n. 11, p. 64-73, 2009.

KANAAN, A. F.; FLORES, C. G.; OLIVEIRA, J. C. P.; ALMEIDA, A. R. F. **Secagem de cornichão (*Lotus corniculatus* L.) em leito fixo com escoamento de ar paralelo**. Bagé: UNIPAMPA, 2014.

MARRETO, R. N. **Estudo da técnica de leito de jorro convencional para secagem de microcápsulas de caseína e pectina**. Ribeirão Preto: USP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, 2006.

DUARTE, C. R.; MURATA, V. V.; BARROZO, M. A. S.. **A study of the fluid dynamics of the spouted bed using CFD**. *Braz. J. Chem. Eng.* [online]. 2005, vol.22, n.2, pp.263-270. ISSN 0104-6632.