



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

# APLICAÇÃO DA INTERMITÊNCIA NA SECAGEM DE ALUMINA EM LEITO DE JORRO: ANÁLISE DA HOMOGENEIDADE DO MEIO

BRITO RC<sup>1</sup>, BÉTTEGA R<sup>1</sup> e FREIRE JT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Química.

E-mail para contato: freire@ufscar.br

**RESUMO** – *O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise prévia da homogeneidade com a aplicação da intermitência em um processo de secagem de alumina em leito de jorro. A temperatura do ar foi mantida constante, quatro diferentes razões de intermitência ( $\alpha$  = razão entre o tempo intermitente e total de cada ciclo) foram empregadas e variou-se a vazão de ar entre  $0,85u_{mj}$  e  $1,25u_{mj}$ . Foi possível observar que a redução da razão de intermitência permitiu a obtenção de um meio com maior homogeneidade. Os melhores resultados obtidos foram para  $\alpha=1/4$  e com a razão de intermitência variável.*

## 1. INTRODUÇÃO

O regime fluidodinâmico característico e as altas taxas de transferência de calor e massa são algumas das vantagens que tem motivado a utilização e o estudo do leito de jorro. O leito de jorro tem sido empregado em uma ampla variedade de processos químicos e físicos que requerem o contato fluido-partícula (MATHUR; EPSTEIN, 1974). Entretanto, o leito de jorro apresenta algumas desvantagens que impedem uma maior aplicação, principalmente no setor industrial. No processo de secagem, por exemplo, evidenciam-se as questões energéticas, inerentes aos secadores convectivos. O leito de jorro possui ainda a peculiaridade de proporcionar um baixo aproveitamento do potencial de secagem da fase fluida, devido ao baixo tempo de residência na região central do equipamento (BECKER; SALLANS, 1961).

Com o intuito de que tais desvantagens sejam superadas, diversas metodologias e configurações têm sido propostas e estudadas. Dentre elas destaca-se a intermitência, que consiste basicamente em variações das condições operacionais e/ou parâmetros ao longo do processo de secagem. A intermitência é uma técnica pouco explorada no leito de jorro, apresentando-se como uma alternativa tanto para as questões energéticas quanto relacionadas ao aproveitamento do ar de secagem, quando aplicada na vazão de ar (KUMAR *et al.*, 2014). Porém, antes que a técnica de intermitência venha a ser de fato aplicada no leito de jorro, uma análise prévia da heterogeneidade do meio deve ser realizada, uma vez que consiste em uma das principais desvantagens dos equipamentos com leito estático (BARROZO *et al.*, 2014). Diante do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise prévia da homogeneidade do meio, em relação à variação espacial da umidade do sólido no leito, na secagem de alumina em leito de jorro, aplicando-se a técnica de intermitência na vazão de ar.



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais e unidade experimental

Foram utilizados 2 kg de partículas de alumina com 3,42 mm de diâmetro. O ar foi alimentado através de um soprador com 7,5 HP. Um inversor de frequência WEG CFW500 foi aplicado para o ajuste da vazão, medida por meio de um medidor tipo Venturi. Um aquecedor, composto por quatro resistências elétricas, e um controlador de temperatura *Flyever* FE50SN foram empregados para o aquecimento do ar de secagem. A câmara de secagem era constituída por uma coluna cilíndrica de aço inox com 60 cm de altura e 30 cm de diâmetro e duas bases cônicas na parte inferior e superior do equipamento com ângulo de 60° e altura de 23 cm.

### 2.2. Procedimento experimental

Nos experimentos de secagem a temperatura do ar foi mantida constante e igual à 60°C. Para a aplicação da intermitência, o processo de secagem foi dividido em ciclos de 20 minutos. As diferentes condições empregadas, as quais são apresentadas na Tabela 1, foram baseadas em razões de intermitência ( $\alpha$ ) sendo a razão entre o tempo intermitente ( $\tau_{off}$ ) e total ( $\tau_{off} + \tau_{on}$ ) de cada ciclo:

Tabela 1 – Condições operacionais empregadas nos experimentos de secagem intermitente.

Ciclo		1.1 ( $\alpha=1/4$ )	1.2 ( $\alpha=1/2$ )	1.3 ( $\alpha=3/4$ )	1.4 ( $\alpha=variável$ )	Contínuo ( $\alpha=0$ )
1°	$\tau_{on}$ (s)	900	600	300	900	1200
	$\tau_{off}$ (s)	300	600	900	300	0
2°	$\tau_{on}$ (s)	900	600	300	600	1200
	$\tau_{off}$ (s)	300	600	900	600	0
3- 9°	$\tau_{on}$ (s)	900	600	300	300	1200
	$\tau_{off}$ (s)	300	600	900	900	0

Nos processos de secagem intermitente, as vazões de ar foram variadas entre  $0,85u_{mj}$  e  $1,25u_{mj}$ , onde  $u_{mj}$  representa a vazão de mínimo jorro. Inicialmente, realizava-se a coleta de três amostras para determinação da umidade inicial das partículas. Após a estabilização do sistema conforme as condições operacionais, realizava-se a alimentação em batelada das partículas e prosseguia-se com o processo de secagem. A coleta de material para determinação da umidade foi realizada em dois pontos da região cônica, localizados à 7 cm (P1) e 12 cm (P2) do orifício de entrada de ar. Tais pontos são equivalentes à 0,45 e 0,75 em posições adimensionais ( $h/L$ ), onde  $L$  representa a altura do leito estático de partículas. No processo contínuo a coleta de material era realizada apenas no ponto P1 em intervalos de 5 minutos, considerando a hipótese de mistura perfeita. Nas secagens intermitentes as coletas eram realizadas em ambos os pontos em intervalos de 20 min, correspondentes ao fim de cada ciclo. A remoção de material em menores intervalos e pontos adicionais poderia vir a resultar na descaracterização do leito em

relação ao processo contínuo. Os experimentos foram realizados em triplicata.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os resultados de umidade adimensional em função do tempo. A umidade adimensional foi definida como a razão entre a umidade do material em um tempo  $t$  e sua umidade inicial.

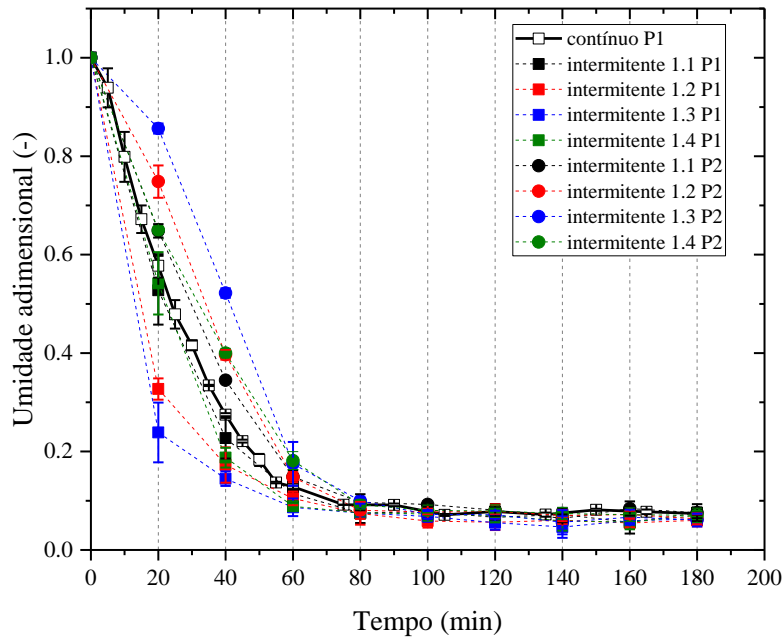


Figura 1 – Umidade adimensional em função do tempo para as diferentes condições operacionais empregadas.

Nos processos intermitentes observou-se um comportamento análogo comparando-se os dois pontos de coleta de material. Nos dois primeiros ciclos do processo (40 min), as umidades adimensionais do ponto P1 permaneceram menores em relação ao ponto P2. Tais resultados podem ser justificados considerando que nos períodos intermitentes a vazão de ar aplicada é menor que a vazão de mínimo jorro. Com isso, a maior parte da fase fluida permanece confinada em um arco interno e em contato direto com a fase sólida localizada nas regiões inferiores do equipamento. A formação do arco interno é mencionada por Mathur e Epstein (1974) na descrição do fenômeno fluidodinâmico de formação do jorro. Além disso, diferentemente do período de jorro estável, na condição de leito estático o tempo de residência da fase fluida em contato com a fase sólida é maior. Conseqüentemente, considerando que na região inferior do equipamento próximo ao ponto P1 o ar encontra-se menos saturado, uma maior quantidade de umidade é removida do material nesta região. Conforme o ar percola no leito, ocorre uma perda do seu potencial de secagem. Fenômeno semelhante ocorre no leito fixo, o que resulta, juntamente com outros fatores, na maior heterogeneidade em relação aos leitos móveis (BARROZO *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015). A partir do 3º ciclo (60 min), os valores de umidade adimensional para as diferentes condições empregadas restaram praticamente sobrepostos. Conforme ocorre a secagem do material, a resistência externa à transferência de massa passa a ser menos significativa e os mecanismos internos tornam-se mais predominantes na remoção da umidade. Deste modo, o processo fica menos suscetível às condições externas



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

de secagem. Assim, as variações da vazão de ar nos períodos intermitentes tendem a exercer menos influência na remoção da umidade nos instantes finais do processo.

Comparando-se as diferentes condições de intermitência empregadas verificou-se que a diminuição da razão de intermitência promoveu a redução na diferença da umidade adimensional entre os dois pontos de coleta. Nos processos com menores razões de intermitência, o tempo efetivo em que o processo é conduzido sob menores vazões é menor. Consequentemente, embasando-se nas justificativas apresentadas anteriormente, isso colabora para a obtenção de um meio mais homogêneo. A relação entre a velocidade do ar de secagem e a heterogeneidade do meio também foi verificada por Souza *et al.* (2015) na secagem de soja em leito fixo. Os autores verificaram que as menores diferenças entre as taxas de secagem nos pontos axiais analisados foram obtidas para os processos conduzidos com maiores velocidades do ar de secagem. Ressalta-se que na condição de leito estático nos períodos intermitentes, o meio é distinto ao leito fixo em função do menor empacotamento. Entretanto, resultados semelhantes foram obtidos em relação à heterogeneidade do meio.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram constatar que a redução da razão de intermitência promoveu a obtenção de um meio de maior homogeneidade. A heterogeneidade do meio foi mais significativa e visível nos instantes iniciais, quando o material apresentava uma maior umidade e os mecanismos internos não eram predominantes. As condições onde foram observadas as menores diferenças foram com  $\alpha=1/4$  e variável. Portanto, com base na análise prévia realizada, a aplicação da intermitência mostrou-se promissora no sentido de minimizar os problemas de heterogeneidade de leitos estáticos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2017 / 01856-7) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 6. REFERÊNCIAS

- BARROZO, M. A. S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J. T. Air-Drying of Seeds: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1127–1141, 2014.
- BECKER, H. A.; SALLANS, H. R. Drying wheat in a spouted bed. **Chemical Engineering Science**, v. 18, n. 3, p. 97–112, 1961.
- KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 48–57, 2014.
- MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. first ed. ed. New York: Academic Press, 1974.
- SOUZA, G. F. M. V; MIRANDA, R. F.; BARROZO, M. A. S. Soybean (Glycine max L. Merrill) Seed Drying in Fixed Bed: Process Heterogeneity and Seed Quality. **Drying Technology**, v. 33, n. 14, p. 1779–1787, 2015.