

Simulação do Processo de Microencapsulamento de Óleo de Farelo de Arroz em Spray-dryer

Eduardo B. V. Maia¹, Kamila S. de Oliveira¹, Ninoska I. B. Ramírez², Suely P. Freitas¹

¹Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
CEP 21.949-900 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – Universidade Federal Fluminense (UFF)
CEP 24.210-240 – Niterói – RJ - Brasil

ebvmaia@gmail.com

Abstract. *The present work aims to use material and energy balances to simulate the microencapsulation process of rice bran oil, modified starch and maltodextrin in spray-dryers. The model predictions of the outlet gas temperature were compared with experimental results for validation, which showed satisfactory accuracy. Suggestions were discussed in order to increase the model fit to experimental data, as well as future studies involving energy recovery.*

Resumo. *Este trabalho tem por objetivo simular, por meio de equações de balanço, o processo de microencapsulamento de óleo de farelo de arroz, amido modificado e maltodextrina em spray-dryers. As previsões da temperatura do gás de saída feitas pelo modelo foram comparadas com resultados experimentais para fins de validação, apresentando aderência satisfatória. Foram feitas sugestões para aumentar a aderência do modelo e oportunidades de estudos futuros envolvendo recuperação de energia.*

1. Introdução

O termo *spray-drying* é usado para descrever o processo de secagem que consiste na passagem de um líquido (solução, emulsão ou suspensão) por um atomizador, produzindo gotículas que, em contato com uma corrente gasosa aquecida (geralmente ar), serão secas quase instantaneamente, resultando em um produto na forma de um pó fino (Gharsallaoui, et al., 2007).

A secagem por spray é amplamente empregada nas indústrias farmacêuticas, poliméricas e químicas (Silveira, 2013). Além desses casos, esta tecnologia também é usada tradicionalmente na indústria alimentícia nos processos de produção de leite em pó, café solúvel e mais recentemente na obtenção de compostos bioativos microencapsulados (Plazola-Jacinto, et al., 2019).

Especificamente, o processo de microencapsulamento pode ser realizado através de diferentes técnicas além do *spray-drying*, como a liofilização e a coacervação complexa. No entanto, a secagem por spray é uma das técnicas mais utilizadas devido à sua disponibilidade e ao seu baixo custo, quando comparado às outras opções (Gharsallaoui, et al., 2007).

Devido à complexidade do processo, sua modelagem ainda é um dos maiores desafios entre as tecnologias de secagem disponíveis (Zbicinski, 2017). Assim, historicamente o projeto de *spray-dryers* tem dependido muito de trabalhos empíricos e de plantas pilotos, implicando em altos custos operacionais, gastos energéticos e de materiais.

Recentemente, estudos utilizando Fluidodinâmica Computacional (CFD) têm ajudado a esclarecer os fenômenos que ocorrem no interior da câmara de secagem (Gharsallaoui, et al., 2007). Contudo, esses modelos frequentemente se tornam complexos e difíceis de implementar num ambiente industrial, uma vez que possuem custo computacional elevado (Lisboa, et al., 2018). Portanto, há uma demanda por modelos simples e de baixo custo computacional para simular o processo de secagem por *spray*.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi simular o processo de microencapsulamento de óleo de farelo de arroz, usando equações simples de balanços globais material e energético, com o intuito de prever o comportamento da secagem, especificamente da temperatura de saída do ar de secagem. Para isso, foram realizados experimentos em laboratório para comparar os resultados obtidos com os previstos pelo modelo matemático.

2. Modelo matemático e simulação computacional

O modelo usado neste trabalho foi descrito por (Golman & Yermukhambetova, 2019) e baseia-se principalmente nas equações de balanço de massa e de energia no *spray-dryer* e em relações termodinâmicas básicas. Como se trata de uma operação de secagem há interesse apenas na forma do balanço material para a água. A forma final deste balanço de massa é:

$$Y_{gs} = \frac{m_{sl,d}X_{sl} + m_{ge,d}Y_{ge} - m_{p,d}X_p}{m_{gs,d}}$$

onde: m_i é a vazão mássica da corrente i , X_i é a fração mássica de água e Y_i é a umidade do gás em base seca. Por sua vez, o subscrito “gs” refere-se ao gás de saída, “sl” à emulsão, “ge” ao gás de entrada e “p” ao produto final em pó.

A expressão final do balanço de energia é:

$$\frac{T_{out} - T_{ref}}{m_{gs,d}(Cp_a + Y_{gs}Cp_v) + m_{p,d}(Cp_s + X_pCp_l)} = \frac{m_{sl,d}(Cp_s + X_{sl}Cp_l)(T_{sl} - T_{ref}) + m_{ge,d}(Cp_a + Y_{ge}Cp_v)(T_{in} - T_{ref}) + m_{ge,d}Y_{ge}h_{vap} - Q_{loss} - m_{gs,d}Y_{gs}h_{vap}}{m_{gs,d}(Cp_a + Y_{gs}Cp_v) + m_{p,d}(Cp_s + X_pCp_l)}$$

onde: T_{out} e T_{in} são respectivamente as temperaturas de saída e entrada do ar, Cp_i é a capacidade calorífica à pressão constante do componente i , T_i é a temperatura da corrente i , h_{vap} é o calor latente de vaporização da água e Q_{loss} é a taxa de calor perdido através das paredes da câmara. Com relação aos componentes, o subscrito “a” refere-se ao ar seco, “v” ao vapor d’água, “s” ao produto sólido final e “l” à água no estado líquido.

Para fins de simulação, determinou-se que T_{out} seria a variável de saída do modelo e que será comparada com os resultados experimentais para validação.

O erro absoluto foi então calculado conforme a equação:

$$\text{Erro absoluto (\%)} = \left| \frac{T_{out\,exp} - T_{out\,mod}}{T_{out\,exp}} \right|$$

onde: $T_{out\,exp}$ é a temperatura obtida experimentalmente e $T_{out\,mod}$ é a temperatura prevista pelo modelo.

Todas as simulações foram realizadas em planilhas no *software* Microsoft® Excel®. Uma vez que é possível explicitar a variável de saída (T_{out}) no modelo descrito, não foi necessário o uso de nenhum *solver* específico para resolução das equações, o que explica o baixo esforço computacional envolvido na simulação.

3. Experimentos

As corridas experimentais foram realizadas em escala de laboratório, utilizando um *spray-dryer* modelo SD-06A da marca *LabPlant* (North Yorkshire, England).

Para preparo da emulsão, foram utilizados óleo de farelo de arroz prensado (Pazze Alimentos, Brazil), amido modificado (Capsul®, Ingredion Brasil) e maltodextrina (DE5, GLOBE® 1805, Corn Products Brasil), nas proporções apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Proporção das substâncias para preparo da emulsão

Material	% m/m
Água	0,75
Óleo de farelo de arroz	0,05
Amido modificado	0,14
Maltodextrina	0,06

No planejamento experimental proposto, os parâmetros: temperatura do ar de secagem, vazão do ar de secagem e vazão de alimentação de emulsão foram avaliados. Cada parâmetro foi avaliado em 3 níveis, com exceção da temperatura de entrada que foi avaliada em 4 níveis, gerando 34 corridas experimentais distintas. Os valores usados para cada parâmetro estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores dos parâmetros usados nos experimentos

Parâmetro	Valores			
T_{in}	110°C	130°C	150°C	170°C
F_{ar}	10	20	30	-
F_{em}	5	10	15	-

Cada ensaio foi conduzido entre 10 e 14 minutos, contados a partir da estabilização das condições de operação (temperatura de entrada e saída).

Durante cada corrida, os dados de temperatura da parede da câmara, temperatura de entrada e saída do ar, temperatura ambiente e umidade relativa atmosférica foram coletados em intervalo de 2 minutos. Ao final da corrida, determinou-se um valor médio para cada parâmetro. Essas foram as variáveis independentes (ou de entrada) do modelo, juntamente com a composição da emulsão.

4. Resultados

O gráfico ilustrado na Figura 1 apresenta a comparação entre os resultados obtidos e o modelo matemático. Cada ponto representa uma corrida experimental; o eixo y se refere aos valores previstos pelo modelo enquanto o eixo x se refere aos valores experimentais. Assim, quanto mais os pontos se aproximarem de uma reta, melhor será a aderência do modelo. Desta maneira, observa-se uma boa aderência do modelo aos experimentos realizados, obtendo-se um coeficiente de determinação de 0,7531 com relação à regressão linear dos pontos.

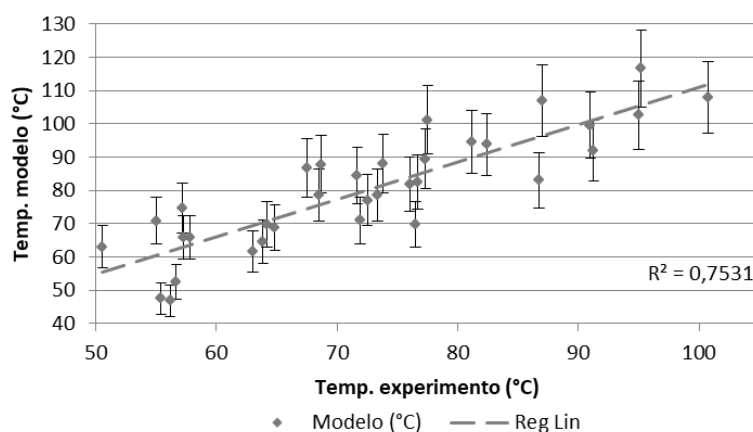


Figura 1 - Comparação da temperatura experimental com as temperaturas previstas pelo modelo

A maior parte dos pontos distantes da reta de regressão está associada às condições que menos favorecem o processo de secagem: menor temperatura de entrada do ar de secagem e maior vazão de alimentação e de emulsão. Nessas condições, a secagem não ocorreu de forma satisfatória, com perda de sólidos na parede da câmara. Nestes casos, a quantidade de amostra obtida ao final de cada corrida foi muito pequena, comprometendo a precisão dos valores obtidos para a umidade final do produto.

Além disso, as simplificações adotadas para construção do modelo também contribuem para as divergências apresentadas. Como exemplo, pode-se citar a hipótese de que não há acúmulo material no interior da câmara de secagem, um problema recorrente em operações industriais de *spray-dryers* e que não foi considerado no presente modelo, para simplificação dos cálculos (Zbicinski, 2017).

Outro parâmetro fundamental em processos de secagem é a umidade final do produto final, que está associada à eficiência de secagem nas condições adotadas. O resultado de umidade percentual obtido em cada corrida está ilustrado na Figura 2.

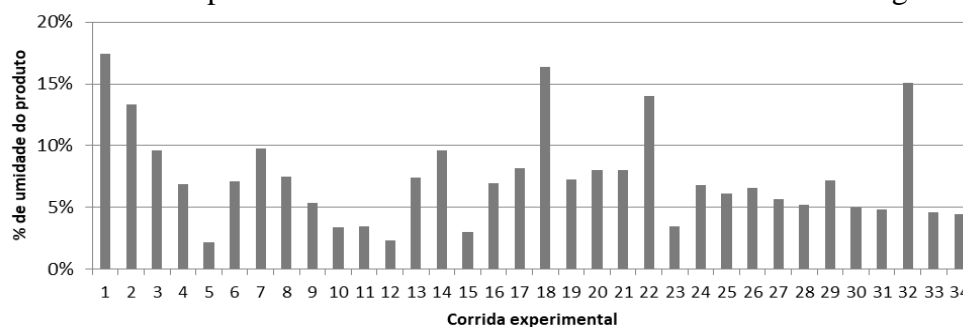


Figura 2 – Umidade percentual do produto final para cada corrida experimental

No caso de óleos vegetais microencapsulados, recomenda-se um limite máximo de 5% de umidade de forma a reduzir a oxidação dos compostos do núcleo. Na Figura 2 observa-se que apenas 10 pontos proporcionaram secagens eficientes a ponto de gerar produtos com umidade aceitável. Os pontos que produziram amostras com umidades altas (maiores que 10%) são majoritariamente os pontos com condições desfavoráveis à secagem, baixa temperatura e menor tempo de residência, conforme mencionado anteriormente.

5. Conclusões e Sugestões

Foi possível obter um modelo computacional simples, por meio de equações de balanços material e energético, o qual descreve satisfatoriamente o comportamento de secagem por spray no processo de microencapsulamento do óleo de farelo de arroz, com erros absolutos médios na ordem de 14%.

Para minimizar os desvios encontrados, sugere-se que novos experimentos sejam conduzidos em um maior tempo para cada corrida. Com isso, é possível aumentar a quantidade do produto em pó reduzindo, conseqüentemente, os erros associados ao cálculo da umidade final do mesmo.

Por fim, sugere-se o uso do modelo proposto em um estudo mais aprofundado considerando-se as possibilidades de recuperação de energia nesse tipo de processo. O alto gasto energético associado às perdas de calor pelas paredes da câmara é um dos principais entraves para aplicação desta técnica de secagem. Já foram reportadas configurações de operação onde a energia do ar de saída, ainda quente, pode ser usada para pré-aquecer o ar de entrada (McCabe, et al., 2005).

6. Referências

- Gharsallaoui, A. et al., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, Novembro, 40(9), pp. 1107-1121.
- Golman, B. & Yermukhambetova, A., 2019. An Excel VBA-based educational module for simulation and energy optimization of spray drying process. *Computer Applications in Engineering Education*, pp. 1-10.
- Lisboa, H., Duarte, M. & Cavalcanti-Mata, M., 2018. Modeling of food drying processes in industrial spray dryers. *Food and Bioproducts Processing*, Volume 107, pp. 49-60.
- McCabe, W., Smith, J. & Harriott, P., 2005. *Unit Operations of Chemical Engineering*. s.l.:McGraw-Hill Education.
- Plazola-Jacinto, C. P. et al., 2019. Microencapsulation of biocompounds from avocado leaves oily extracts. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), pp. 1261-1276.
- Silveira, A., Perrone, I., Rodrigues Júnior, P. H. & Carvalho, A., 2013. Secagem por Spray: Uma Revisão. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, pp. 51-58.
- Zbicinski, I., 2017. Modeling and scaling up of industrial spray dryers: a review. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 50(10), pp. 757-767.