

Simulação computacional de secador por pulverização usando ANSYS CFX[®]

RESUMO

Marina Andreia de Souza

mariina.2010@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-8419-1921>
Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Thais Feiden

thais.feiden@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-3564-2751>
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões, Erechim, Rio Grande
do Sul, Brasil.

Thais Comin

th-thais@uricer.edu.br
<http://orcid.org/0000-0002-3582-032X>
Instituto Federal Catarinense, Concórdia,
Santa Catarina, Brasil.

Cristiano Vitorino da Silva

cristiano@uricer.edu.br
<http://orcid.org/0000-0002-1619-2743>
Instituto Federal Catarinense, Concórdia,
Santa Catarina, Brasil.

A secagem de soluções por atomização, nos diversos setores industriais, é amplamente empregada. Entretanto, a otimização do processo, em sua grande maioria, é realizada de modo empírico e implica em certo custo às empresas, além do tempo despendido com testes experimentais. O objetivo do estudo foi observar a variação da temperatura do gás e da fração de massa do vapor de água, e de valores médios do diâmetro das gotas e sua temperatura no secador de pulverização, bem como à medida que a temperatura e o tamanho da água individual diminuem à medida que viajam através do secador de *spray dryer*. A modelagem e simulação de tais processos de secagem surge como ferramenta no auxílio à otimização, permitindo que diversos parâmetros sejam estudados e variados e, portanto, que a influência de cada um desses parâmetros no sistema seja estimada. Sua principal vantagem é a possibilidade de aperfeiçoar processos, gerando uma economia de custos e melhoria da qualidade dos produtos. Esta ferramenta tem sido muito empregada em estudos que investigam o efeito do escoamento de ar no interior de *spray dryers*. Desta forma, para compreender como é feita a simulação em CFD, utilizou-se uma malha pronta de um modelo de um secador por pulverização, e a partir dos dados fornecidos realizou-se uma simulação por meio do *software* ANSYS CFX versão 18.1. Os resultados da simulação foram promissores, sendo comparados para levar a um melhor entendimento da operação do secador por *spray*.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem; secagem; atomização.

INTRODUÇÃO

A secagem por *spray dryer* é um método bem estabelecido de conversão de materiais líquidos para a forma seca de pó. São extensivamente utilizados para produzir alimentos, produtos medicinais e farmacêuticos em pó. Normalmente, a secagem por *spray dryer* vem no ponto final da linha de produção, sendo um passo importante para o controle da qualidade do produto final (HUSSAIN *et al.*, 2022). Existem algumas vantagens, como rápidas taxas de secagem, um extenso alcance de temperaturas na operação e baixos tempos de residência (MALAFRONTI *et al.*, 2016). É uma técnica de secagem rápida, econômica e mantém as propriedades do produto.

Durante a secagem por pulverização, em essência, o alimento líquido ou concentrado é atomizado em uma câmara de secagem para aumentar a área de superfície para transferência de calor e massa. As gotas geradas pela atomização são suspensas em um meio quente, que extrai o componente volátil de cada gota e, por fim, o produto em pó é formado (JUBAER *et al.*, 2019).

No entanto, devido à não uniformidade das distribuições físicas do campo, a secagem por pulverização muitas vezes sofre de um problema de aglomeração de material e aderência à parede da torre. Para secadores por spray de grande porte, é muito difícil medir as distribuições de temperatura, umidade e velocidade da fase gasosa, bem como as trajetórias das gotas durante o processo de secagem (ZHANG *et al.*, 2021). Uma análise teórica aprofundada dos fenômenos de transferência é essencial para otimizar o processo.

Em operações de secagem por *spray dryer*, se é frequentemente utilizado CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para cálculo de fluxos de ar, temperatura, tamanho de partícula e umidade, os quais são bastante difíceis e caros para se obter em secadores de larga escala (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2013). Desta forma, faz necessária a utilização de CFD para determinação de padrões de fluxos e trajetórias de partículas, que ajudam na determinação da deposição de partículas, na temperatura de ar dentro e na saída da câmara e no tempo de residência do produto dentro do equipamento, de modo que todos estes parâmetros alteram a os aspectos do produto final (BOCARDI e TRIBOLI, 2014).

Embora essa tecnologia tenha sido utilizada com sucesso na área de mecânica dos fluidos, ela ainda está em fase de desenvolvimento para simulação numérica do processo de secagem (RAMACHANDRAN *et al.*, 2018). Espera-se que a simulação CFD visualize o complicado processo de secagem dentro de uma torre de atomização e forneça a base teórica para o projeto estrutural e a otimização dos parâmetros do processo (WOO, 2017). Nos últimos anos, os pesquisadores aplicaram a tecnologia CFD para estudar padrões de fluxo de ar (HUANG, KUMAR e MUJUMDAR 2004; LI e ZBICINSKI, 2015), comportamentos de secagem de gotículas (ANANDHARAMAKRISHNAN *et al.*, 2010; DUCEPT, SIONNEAU e VASSEUR, 2002; GOULA e ADAMOPOULOS, 2014) e projeto de geometria de torre do processo de secagem por spray (HUANG, KUMAR e MUJUMDAR, 2003; HUANG e MUJUMDAR, 2006; SOUTHWELL, LANGRISH e FLETCHER 2001).

Embora os modelos matemáticos para descrever o ar quente, as gotículas e suas interações estejam em melhoria contínua, as simulações CFD existentes ainda não são adequadas para reproduzir e prever o processo de secagem por pulverização devido à falta de medições eficazes de distribuição de temperatura ou umidade dentro da torre de secagem por pulverização.

Com base nisso, foram examinadas e analisadas a variação da temperatura do ar quente e da fração de massa do vapor de água, e de valores médios do diâmetro médio das gotas e da temperatura das gotas no secador de pulverização, bem como à medida que a temperatura e o tamanho da água individual diminuem à medida que viajam através do secador de *spray*.

MATERIAIS E MÉTODOS

DESCRIÇÃO E PLANTA DO PROCESSO

No processo de secagem por *spray dryer* uma solução ou suspensão é alimentada e pulverizada por um bico atomizador, em pequenas gotículas no interior de uma câmara de secagem, onde entrará em contato direto com o ar aquecido, que fornecerá a energia necessária para a evaporação da água presente na suspensão, transformando as gotículas em partículas de pó, que passa por um ciclone e posteriormente serão coletadas em um coletor (VARZAKAS e TZIA, 2015).

As etapas do processo de secagem por pulverização, que ocorre no interior do equipamento *spray dryer*, são apresentadas na Figura 1.

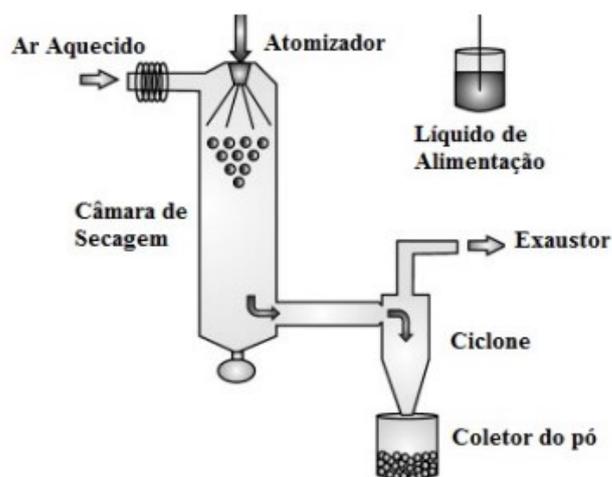


Figura 1: Etapas do processo de secagem por *spray drying*.
FONTE: Engel, 2017.

Segundo Keshani (2015), as variáveis que afetam as características do produto e que podem ser controladas são: I) propriedades do líquido de alimentação, II) design do equipamento e III) parâmetros do processo.

MALHA

O modelo tridimensional do equipamento do tipo *spray dryer* foi obtido do tutorial para CFD. O software usado para aplicação da malha foi o ANSYS CFX® versão 18.1. O modelo é composto de 3 partes, uma entrada superior para o ar e o material particulado, uma saída inferior de particulado e ar e uma câmara de secagem no formato cilíndrico com o fundo cônico, representado na Figura 2.

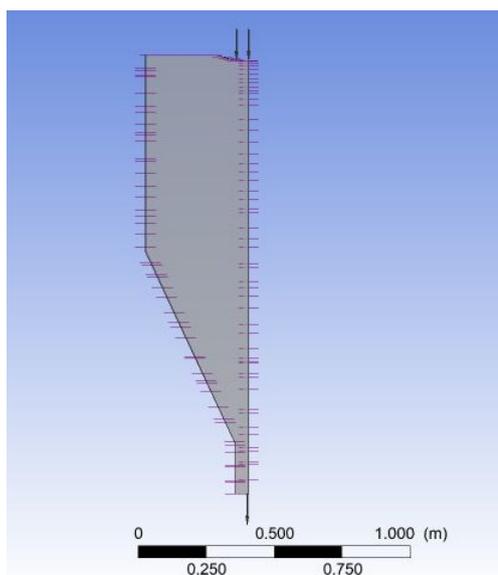


Figura 2: Malha aplicada ao *spray dryer*

As condições de contornos utilizadas foram: Temperatura estática (bico de água) = 300 K; Densidade = 1,2 kg m⁻³; Velocidade normal (massa e momento (fluido água líquida)) = 10 m/s; Temperatura = 300 K; Taxa de fluxo de massa = 3,32x10⁻⁶kg s⁻¹; Distribuição do tamanho das partículas=5,9x10⁻⁶, 1,25x10⁻⁵, 1,39x10⁻⁵, 1,54x10⁻⁵, 1,7x10⁻⁵, 1,88x10⁻⁵, 2,09x10⁻⁵, 2,27x10⁻⁵, 2,48x⁻⁵, 3.11x10⁻⁵ m; Temperatura da água líquida = 300 K; Componente axial (entrada de ar) = -30 m/s; Componente radial (entrada de ar) = 0,0 m/s; Componente theta (entrada de ar)= 10 m/s; Temperatura do ar = 423 K; Pressão estática média = 0,0 Pa; Coeficiente de transferência de calor = 3,0 W m⁻²K⁻¹; Temperatura externa: 300 K ; Critério de convergência = 1x10⁻⁴.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo desenvolvido resultou na observação do comportamento das gotas de água que são evaporadas por um fluxo de ar quente. As figuras obtidas na simulação são apresentadas abaixo (Figuras 3 a 6).

Os resultados simulados ao longo da altura da torre representada na Fig. 3, mostram temperatura de partícula mais baixa perto do ponto de injeção e aumentando em direção à entrada de ar, verifica-se que a temperatura varia de 295 K até 423 K. Observa-se que em praticamente toda extensão do secador por pulverização a temperatura é superior a 413,88 K (140,73 °C), apenas na entrada do material, água, essa temperatura chega a aproximadamente 295,20 K (22,05 °C).

A análise da Figura 4 evidencia a avaliação da fração mássica de água, ou seja, a soma das massas de todos os constituintes da mistura. A maior quantidade de fração mássica, 3,54x10⁻³ – 5,05x10⁻³ é encontrada na região superior, pois é onde se concentra a entrada da água e ar no *spray dryer*, enquanto elas vão se dispersando no decorrer do ciclone a menor, 5,05x10⁻⁴, é encontrada no final onde sai o material particulado.

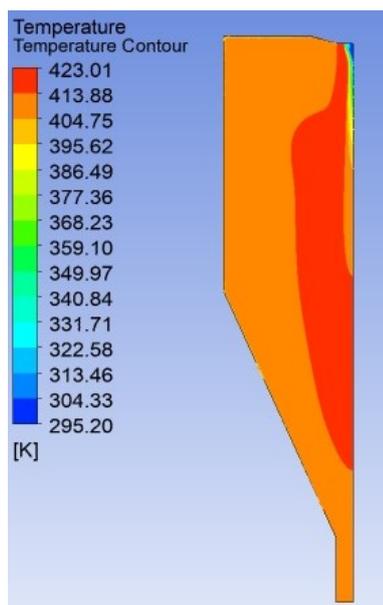


Figura 3: Avaliação da temperatura no *spray dryer*.

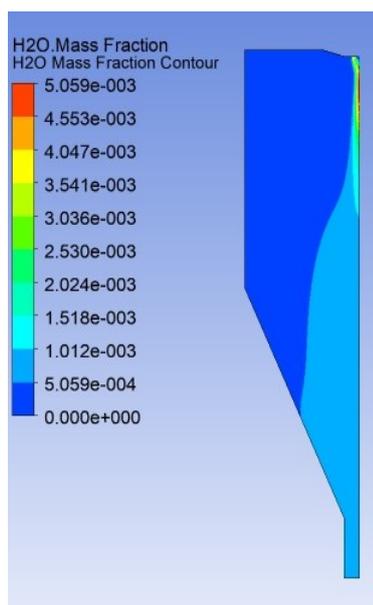


Figura 4: Avaliação da fração mássica de água.

Na Figura 5, tem-se a avaliação do diâmetro médio das partículas de água líquida frontal (a) e oblíqua (b), observa-se que a corrente de ar produzida, possibilita realizar a secagem e que as micro gotas produzidas pelo processo de atomização são vaporizadas instantaneamente quando entram em contato com essa corrente de ar quente, diminuindo o diâmetro das partículas. O diâmetro médio das partículas variou entre $3,10 \times 10^{-6}$ – $3,10 \times 10^{-5}$ m, as maiores partículas se concentram na entrada de água do *spray dryer*, enquanto que as menores partículas se dissipam mais rapidamente para o interior, em direção à saída. As gotículas que têm o menor momento em relação ao gás, ou seja, as menores gotículas, são aceleradas mais rapidamente ao entrar no secador e permanecem perto da linha de centro do secador ao longo de sua vida.

De acordo com Ramos (2016) realizou a secagem por atomização de uma solução de 40 °Brix de maltodextrina diluída em água destilada, encontrando diâmetro médio de partícula de $23,56 \times 10^{-6}$ m empregando uma vazão de 0,0007 m³/h e temperatura de 170°C no ar de secagem.

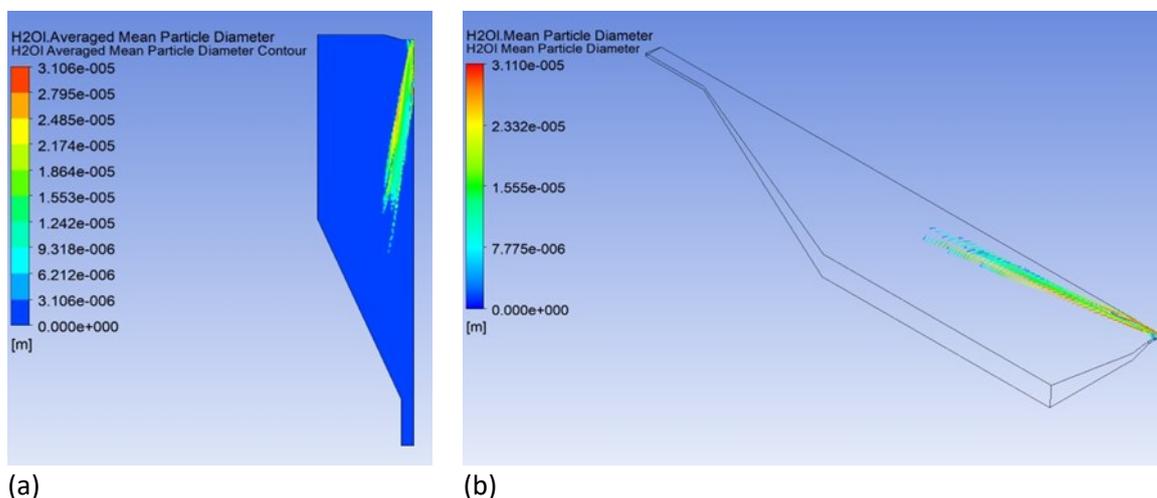


Figura 5: Avaliação do diâmetro médio das partículas de água líquida frontal (a) e oblíqua (b).

A área de contato da água que é pulverizada é muito grande e quando está dentro da câmara com a corrente de ar de secagem produz uma rápida vaporização, na Figura 6, é apresentada a avaliação da temperatura média das partículas de água líquida frontal (a) e oblíqua (b), pode-se observar a temperatura na entrada do bico injetor chegando a 312,63 K (39,48°C) e vai diminuindo no decorrer da passagem do pelo secador. Dessa forma, as gotículas saíram do disco atomizador com grande velocidade radial e caíram em forma de guarda-chuva, entrando em contato com o ar quente primeiro e absorvendo grande quantidade de calor em curtas rajadas, de modo que a água líquida evaporou rapidamente, resultando em uma diminuição significativa das temperaturas nesta região. Esse fenômeno foi semelhante ao encontrado no estudo de Zhang *et al.* (2021).

Segundo Bazarria e Kumar (2016) produziram pó de beterraba por *spray dryer* e avaliaram o efeito do agente de transporte *whey protein* (5-15%), temperatura de entrada de ar de 160°C a 180°C e vazão de fluxo de 400 a 600mL/h nas propriedades físico-químicas e estruturais do produto. Segundo os autores, a temperatura de entrada associado à quantidade do agente de transporte foram os parâmetros mais significativos.

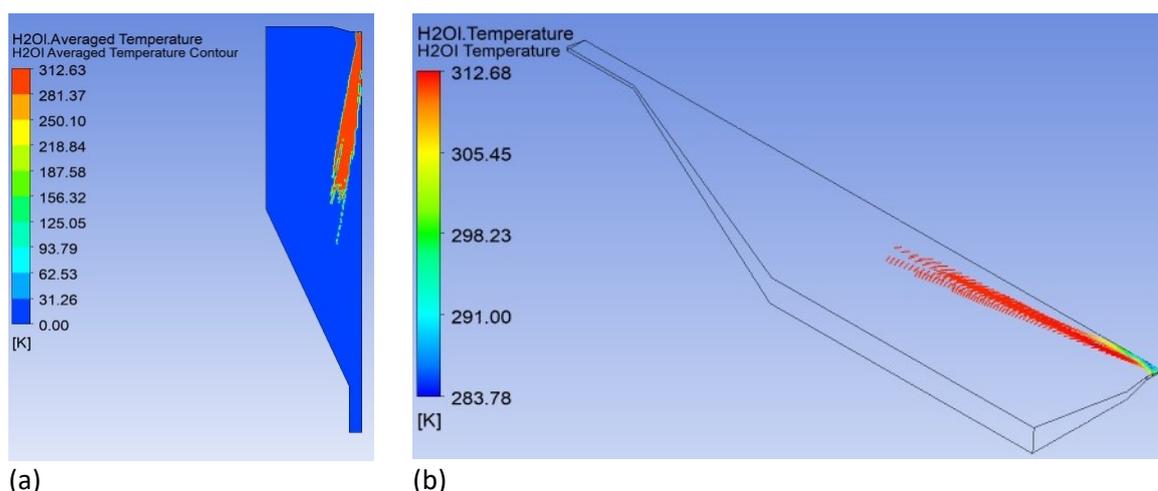


Figura 6: Avaliação da temperatura da temperatura média das partículas de água líquida frontal (a) e oblíqua (b).

CONCLUSÃO

Conforme apresentado na simulação, observou-se a variação da temperatura do gás e da fração de massa do vapor de água, e de valores médios do diâmetro médio das gotas e da temperatura das gotas no secador de pulverização, bem como à medida que a temperatura, 283,78 – 312,68 K, e o tamanho das partículas de água individual, $3,10 \times 10^{-6}$ – $3,10 \times 10^{-5}$, diminuem à medida que viajam através do secador de *spray dryer*, não permitindo que as partículas permaneçam muito tempo expostas na câmara de secagem e revestem a partícula da exposição aos efeitos danosos. A técnica de secagem por pulverização é bem estabelecida em diferentes ramos da indústria.

Por meio da simulação da malha do secador por pulverização, pode-se afirmar que o ANSYS-CFX® é uma importante ferramenta de modelagem para diversos processos na indústria, inclusive para a secagem por *spray dryer*. Ao longo dos anos, devido aos vários avanços na área da computação e da modelagem matemática, foi possível criar *softwares* cada vez mais robustos e precisos para simulação de escoamentos turbulentos, e isso só foram possíveis por meio da criação de novos modelos matemáticos, como os modelos de turbulência, modelos capazes de rastrear a trajetória das partículas e a interação entre fase contínua e dispersa.

Além disso, as simulações apresentadas neste artigo demonstram que as técnicas atuais de CFD utilizando ANSYS CFX® são capazes de prever fenômenos bastante complexos que ocorrem em secadores de pulverização e destacam o potencial de CFD na exploração do efeito dos parâmetros de entrada de alimentação e gás na estabilidade de fluxo, velocidade e qualidade do produto. Auxiliando, envolvidos nos processos da indústria de alimentos a simularem um projeto e obterem as variáveis necessárias para que sua reprodução em planta real tenha uma maior confiabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Computational spray dryer simulation using ANSYS CFX®

ABSTRACT

The drying of solutions by spraying, in various industrial sectors, is widely used. However, the optimization of the process, for the most part, is performed empirically and implies a certain cost to companies, in addition to the time spent on experimental tests. The aim of the study was to observe the variation in gas temperature and mass fraction of water vapor, and mean values of droplet diameter and temperature in the spray dryer, as well as the temperature and size of the water. decrease as they travel through the spray dryer. The modeling and simulation of such drying processes appears as a tool to aid optimization, allowing several parameters to be studied and varied and, therefore, the influence of each of these parameters on the system to be estimated. Its main advantage is the possibility of improving processes, generating cost savings and improving product quality. This tool has been widely used in studies investigating the effect of airflow inside spray dryers. Thus, to understand how the simulation is done in CFD, a ready-made mesh of a model of a spray dryer was used, and based on the data provided, a simulation was performed using ANSYS CFX software version 18.1. The simulation results were promising, being compared to lead to a better understanding of the spray dryer operation.

KEYWORDS: modeling; drying; atomization.

REFERÊNCIAS

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Computational Fluid Dynamics Applications in Food Processing. In: Aplicações de Dinâmica de Fluidos Computacional em Processamento de Alimentos. **SpringerBriefs em Alimentos, Saúde e Nutrição**. New York, NY, ISBN: 978-1-4614-7990-1, 2013.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; GIMBUM, J.; STAPLEY, A. G. F.; RIELLY, C. D. A Study of Particle Histories during Spray Drying Using Computational Fluid Dynamic Simulations. **Drying Technology**, v. 28, p. 566 – 576, 2010.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, v. 14, p. 21-27, 2015.

BOCARD, M. G.; TRIBOLI, E. P. R. Avaliação De Propriedades Tecnológicas De Iogurte Em Pó Obtido Por Secagem Em Spray Dryer. **Anais do 4.º Seminário Mauá de Iniciação Científica**, 2012.

DUCEPT, F. SIONNEAU, M. VASSEUR, J. Superheated steam dryer: simulations and experiments on product drying. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p. 75 – 83, 2002.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Influence of spray drying conditions on residue accumulation - Simulation using CFD. **Drying Technology**, v. 22, p. 1107 – 1128, 2004.

HUANG, L. X.; KUMAR, K.; MUJUMDAR, A. S. A parametric study of the gas flow patterns and drying performance of co-current spray dryer: Results of a computational fluid dynamics study. **Drying Technology**, v. 21, p. 385 – 412, 2003.

HUANG, L. X.; MUJUMDAR, A. S. Numerical study of two-stage horizontal spray dryers using computational fluid dynamics. **Drying Technology**, v. 24, p. 727 – 733, 2006.

HUANG, L.X.; KUMAR, K.; MUJUMDAR, A. S. Simulation of a spray dryer fitted with a rotary disk atomizer using a three-dimensional computational fluid dynamic model. **Drying Technology**, v. 22, p. 1489 – 1515, 2004.

HUSSAIN, F.; JASKULSKI, M.; PIATKOWSKI, M.; TSOTSAS, E. CFD simulation of agglomeration and coalescence in spray dryer. **Chemical Engineering Science**, v. 247, p. 117064, 2022.

JUBAER, H.; XIAO, J.; CHEN, X. D.; SELOMULYA, C.; WOO, M. W. Identification of regions in a spray dryer susceptible to forced agglomeration by CFD simulations. **Powder Technology**, v. 346, p. 23-37, 2019.

KESHANI, S. Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152-162, 2015.

LI, X.; ZBICINSKI, I. A sensitivity study on CFD modeling of cocurrent spray-drying process. **Drying Technology**, v. 23, p. 1681 – 1691, 2015.

MALAFRONTÉ, L.; AHRNÉ, L.; ROBERTIELLO, V.; INNINGS, F.; RASMUSON, A. Prediction of regions of coalescence and agglomeration along a spray dryer— application to skim milk powder. **Journal of Food Engineering**, v. 175, p. 15–23, 2016.

RAMACHANDRAN, R. P.; AKBARZADEH, M.; PALIWAL, J. CENKOWSKY, S. Computational Fluid Dynamics in Drying Process Modelling-a Technical Review. **Food Bioprocess Technology**, v. 11. p. 271 – 292, 2018.

RAMOS, F. M. Avaliação De Sistema De Secagem Em Vacuum Spray Dryer. 96 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

SOUTHWELL, D. B.; LANGRISH, T. A. G.; FLETCHER, D. F. Use of Use of Computational Fluid Dynamics techniques to assess design alternatives for the plenum chamber of a small spray dryer. **Drying Technology**, v. 19, p. 257 – 268, 2001

VARZAKAS, T.; TZIA, C. Handbook of Food Processing: Food Preservation. **New York: CRC Press**, p. 748, 2015.

WOO, M. W. Computational Fluid Dynamics Simulation of Spray Dryers: An Engineer's Guide. **CRC Press**, Boca Raton, Londres, Nova York, 2017.

ZHANG, S.; LIU, N.; PAN, Y.; WANG, W.; LI, Y.; ZHU, Y. Three-dimensional modelling of two-phase flow and transport in a pilot centrifugal spray dryer. **Chemical Physics Letters**, v. 765, p. 138-309, 2021.

Recebido: 30 set. 2021.

Aprovado: 14 out. 2021.

DOI: 10.3895/rebrapa.v11n3.14769

Como citar:

SOUZA, M. A. et al. Simulação computacional de secador por pulverização usando ANSYS CFX®. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 11 n. 2, p. 27-38, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Marina Andreia de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

