

MODELAGEM CINÉTICA DA SECAGEM DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Cynthia Sany França Xavier ¹
Fellipe Farias Crispiniano ²
Marcello Maia de Almeida ³
Fernando Fernandes Vieira ⁴

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, originária da Indonésia e Nova Guiné, é uma gramínea pertencente à família das Poáceas do gênero *Saccharum*. Compõe-se essencialmente de duas partes: uma subterrânea constituída pelos rizomas e pelas raízes e, outra, aérea, pelo colmo, folhas e flores. O colmo é constituído pelos gomos, nós e pelas gemas e seu tecido fundamental é chamado de parênquima que é onde se encontram as células com a principal função de armazenar o líquido açucarado da planta (CARVALHO, 2014).

Segundo a União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA, 2019), uma tonelada de cana-de-açúcar produz em média 280 kg de bagaço. No processamento da cana-de-açúcar, após a moagem, há a geração do bagaço onde parte é queimado para a geração de energia para a própria usina. No entanto, devido a sua composição (50% celulose, 27% hemicelulose e 23% lignina) o bagaço da cana-de-açúcar tem-se apresentado como um ótimo adsorvente de corante têxteis (CARVALHO, 2014).

O processo de secagem é uma operação unitária empregada nas indústrias químicas e de alimentos que visa remover, significativamente, um líquido volátil dos produtos *in natura*, reduzindo assim o seu peso, volume e o teor de umidade no material de forma que o tempo de conservação e a vida útil do produto aumente e facilite o seu transporte, manuseio e armazenamento (CARVALHO et al., 2018).

O tipo de secagem a ser utilizado depende, principalmente, do produto a ser desidratado, da sua constituição química, das características físicas finais desejadas para o produto, bem como das propriedades do ar de secagem, dos limites de temperatura e do meio de transferência

¹ Mestranda do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, cynthiasany@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, fellipetecinfo@gmail.com;

³ Doutor em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, marcellomaia@email.com;

⁴ Professor orientador: Doutor, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, fernanvieira@gmail.com. (83) 3322.3222

de calor adotados em função da sensibilidade dos compostos químicos, de forma a se evitar a perda ou a degradação desses compostos (FIORENTIN et al., 2010).

Para a obtenção das curvas de secagem é necessário que as amostras sejam retiradas em intervalos de tempo pré-determinados a fim de se determinar o teor de umidade do material, onde representa a quantidade de água por massa seca de material. As curvas de secagem analisam a retirada de umidade do produto com relação ao tempo, podendo assim caracterizar a operação.

As curvas de secagem variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores, visto que as características dos produtos (composição, estrutura e dimensão) e as condições de secagem são muito diversas. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (BOTELHO et al., 2018).

Os modelos matemáticos são ferramentas utilizadas para estimar o tempo necessário para redução da umidade do produto sob diferentes condições de secagem de forma a auxiliar nas tomadas de decisão e contribuir na melhoria da eficiência do processo (CARVALHO et al., 2018).

Segundo Fiorentin et al. (2012), adsorventes oriundos de resíduos agrícolas que possuam elevado teor de umidade requerem a remoção parcial ou total da umidade presente em seus poros, nesse sentido, a passagem de ar forçado pela amostra, denominado se secagem convectiva forçada, pode acelerar o processo de secagem assegurando a qualidade e a estabilidade do produto e diminuindo a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que possam ocorrer durante o processo de armazenamento do material.

Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivos determinar as curvas e o tempo de secagem do bagaço da cana-de-açúcar nas temperaturas de 60 e 80°C e ajustar modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais obtidos na secagem do bagaço, definindo o melhor modelo ajustado.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

O bagaço da cana-de-açúcar utilizado para estudo foi adquirido no comércio da cidade de Campina Grande – PB. A coleta do material foi realizada logo após a etapa de moagem da cana de forma que não ocorresse a degradação microbiológica das amostras do bagaço.

Inicialmente, a biomassa foi cortada, com auxílio de uma tesoura, em pedaços uniformes de aproximadamente 1cm de comprimento com o intuito de se ter um material homogêneo

durante a secagem. Em seguida, a mesma foi lavada por três vezes em um recipiente contendo 4L de água para a retirada de possíveis impurezas e reservada para secagem.

Para análise da umidade inicial do produto foram pesados 10g da biomassa em balança analítica marca Marconi, modelo AL500C na qual foram submetidas à secagem em balança de infravermelho, tal processo foi realizado em triplicata.

Para construção da curva de secagem foram utilizadas duas temperaturas distintas (60°C e 80°C) e uma massa inicial do bagaço da cana de açúcar de aproximadamente 400g. Foi utilizado uma estufa da marca Marconi modelo MA 035/3IN250 com circulação de ar forçada até que a biomassa atingisse peso constante. Durante as sete primeiras horas o material foi retirado da estufa em determinados intervalos de tempo para realização de pesagem em balança analítica da marca Marconi, modelo AL500C com o objetivo de se determinar o teor de umidade em função do tempo, completas oito horas de experimento atingiu-se massa constante.

O procedimento foi realizado em triplicata para cada temperatura e em seguida o material foi moído em um moinho de facas modelo MA 048 Marconi Brasil, utilizando telas mesh 20 = 0,85mm e 32 = 0,5mm, em aço inox, com a finalidade de se obter um material com granulometria uniforme e em seguida, armazenado em potes plásticos e depositados em um recipiente de isopor para controle da umidade.

Para ajustar os dados experimentais foram utilizados os modelos matemáticos de Midilli, Newton, Logarítmico e Page. A estimativa dos parâmetros dos modelos cinéticos foi obtida por regressão não linear com o auxílio do *software* STATISTICA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das curvas de cinética de secagem apresentou-se os teores de umidade adimensional em função do tempo dos experimentos de bagaço de cana-de-açúcar em estufa com recirculação de ar nas temperaturas de 60 e 80 °C, onde foram utilizadas as medidas de umidade em base seca obtidas para as amostras retiradas em diferentes intervalos de tempo.

Foi possível observar que na temperatura de 80 °C houve um maior decaimento da umidade na fase inicial do processo, onde a média da umidade adimensional no tempo de 300 min para a temperatura de 60°C foi de 0,0501, enquanto que para temperatura de 80°C foi de 0,0002 comprovando assim que o processo de secagem ocorre de forma mais rápida no segundo caso. A umidade em inicial do bagaço de cana-de-açúcar foi obtida em balança de infravermelho e concluiu-se que a água contida na matéria-prima representa cerca de 90,97% de sua massa total.

Os dados experimentais da cinética de secagem a 60 e 80 °C foram ajustados aos modelos empíricos de Midilli, Newton, Logarítmico e Page.

A partir da análise de variância dos modelos a partir do ajuste das equações matemáticas por regressão não linear aos dados de cinética de secagem do bagaço de cana-de-açúcar e o coeficiente de determinação (R^2) com nível significância de 5% verificou-se que todos os modelos analisados apresentaram uma boa concordância com os dados experimentais, no entanto, os modelos Page e Midilli apresentaram melhores resultados segundo critérios estatísticos R^2 tanto para a temperatura de 60 °C quanto para a de 80 °C. No entanto, o coeficiente de determinação (R^2) não constitui sozinho um bom critério para seleção de modelos não lineares portanto, de acordo com o teste F, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem do bagaço de cana-de-açúcar.

Segundo Neto et al. (2001), um modelo pode ser considerado estatisticamente significativo se $F_{cal} > F_{tab}$ e preditivo se essa relação for superior a 10. Observa-se que a razão entre F_{cal} e o F_{tab} foi superior a 10 confirmando que estatisticamente para um nível de confiabilidade de 95% os modelos utilizados são estatisticamente significativos e preditivos para representar a secagem do bagaço da cana-de-açúcar em estufa de recirculação de ar e a porcentagem de variação explicada pelos modelos (R^2) é considerada muito satisfatória, acima de 99,7%, para ambas as temperaturas.

Graebin (2014) estudou a secagem do bagaço de cana-de-açúcar em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70, 80, 90 e 100°C e verificou que o aumento no parâmetro temperatura promove uma diminuição no tempo de secagem. Os dados cinéticos experimentais de secagem do bagaço foram ajustados aos modelos matemáticos de Page, Newton e Placa Plana onde observou-se que para todas as temperaturas o modelo de Page obteve o melhor ajuste.

Goyalde et al. (2009) realizou a secagem da cana-de-açúcar nas temperaturas de 50 e 60°C e ajustou os dados experimentais aos modelos de Midilli, Henderson e Pabis, Logarítmico e Page, onde o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem da cana-de-açúcar picada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação do potencial do bagaço da cana-de-açúcar como bioadsorvente para remoção do corante têxtil direto da marca Tupy® utilizando o processo de adsorção foi possível

verificar que a secagem é fortemente influenciada pela temperatura e que a cinética de secagem é acelerada em temperaturas mais elevadas.

Foi possível ajustar os modelos cinéticos de secagem aos dados experimentais de secagem do bagaço de cana-de-açúcar, sendo o modelo de Page o que melhor representou o processo de secagem segundo critérios estatísticos Teste F, para as temperaturas de 60 e 80 °C, obtendo um coeficiente de determinação acima de 0,99.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, F. M.; HAUTH, M. R.; HOSCHER, R. H.; BOTELHO, S. de C. C. Modelagem matemática da contração volumétrica de grãos de soja durante o processo de secagem. Revista Engenharia na Agricultura V.26, n.01, p.1-12, 2018

CARVALHO, F. M. M. **Caracterização ultra estrutural e hidrólise enzimática de cana-de-açúcar e bagaço pré-tratados quimiomecanicamente.** 2014. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

CARVALHO J. M. G.; BUENO, S. G. S.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O. **Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas da secagem do grão de girassol.** Global Science and Technology, Rio Verde, v.11, n.02, p.136-149, 2018

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D. de; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, A. N. **Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja.** Acta Scientiarum Technology, v. 32, n. 2, p. 147-152, 2010.

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; MODENES, A. N. **Análise da secagem do bagaço de laranja em camada fina utilizando modelos semi-teóricos e empíricos.** Engevista, v.14, n.1, p.22-33, 2012.

GOYALDE, N. A.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P.; GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, F. L. Mathematical modeling of the drying kinetics of sugarcane slices. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p.117-121, 2009.

GRAEBIN, G. O. **Secagem do Bagaço de Cana-de-Açúcar e Estudo da sua Aplicação na Remoção de Metal Pesado.** Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro de 2014.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas: Unicamp, 2001, 401p.

ÚNICA. **União da Indústria de Cana de Açúcar. Conquistas do setor sucro-energético na matriz energética brasileira.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/faq/>> Acesso em: 24 de janeiro de 2019.