

ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE BIOMASSA PARA APLICAÇÕES BIOENERGIA

Fabiana Aparecida Pereira¹ (IC), Hugo Perazzini (PQ)¹
¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Bagaço de Laranja. Cinética de secagem. Secador de Leito fixo.

Introdução

As preocupações com o impacto ambiental ocasionado de fontes de combustíveis não renováveis, como o petróleo, aumentaram as pesquisas sobre fontes de energia limpas. Nesse cenário, a biomassa é uma importante fonte de energia renovável devido à sua disponibilidade, baixo custo e variedade que pode ser convertida em combustível [1]. A utilização de resíduos de materiais orgânicos como biomassa é uma alternativa para a energia renovável.

O Brasil se destaca com um dos maiores produtores mundiais de frutas cítricas. A produção de laranjas e limões no país é superior a 19 milhões de toneladas de frutas, e a maior parte é destinada à industrialização de suco [2]. O processamento das frutas cítricas geram grandes quantidades de resíduos, pois cerca de 50-60% da fruta processada torna-se resíduo, composto de casca, sementes e resíduos de membrana [3].

Com o grande volume de resíduos gerados, é necessário o manuseio adequado desse material, pois o descarte incorreto pode causar poluição do solo e da água. Assim, o uso do bagaço de laranja para produção de energia pode ser uma alternativa para o aproveitamento sustentável e ecológico desse material.

O aproveitamento de biomassa para a produção de energia ocorre por meio da realização da conversão do material em um combustível com maior valor energético. A pirólise é um processo de conversão termoquímica da biomassa que ocorre sob uma atmosfera inerte e em temperaturas moderadas. Três produtos principais são obtidos deste processo: uma fração gasosa (gases não condensáveis), uma fração líquida (gases condensáveis) e uma fração sólida (carvão) [1].

Para melhorar a qualidade dos produtos da pirólise é importante a realização do pré-tratamento da biomassa. Os resíduos do processamento de laranja apresentam elevada umidade, em torno de 85% em base úmida. A umidade da matéria-prima submetida a tratamento térmico para produção de bioenergia deve ser inferior a 10% a fim de reduzir a presença de água no produto [4].

Assim, é necessária a etapa de secagem para reduzir a quantidade de água no material e obter maior eficiência energética na conversão termoquímica.

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem do bagaço de laranja por meio da secagem do material em um secador tipo túnel de leito fixo e camada delgada. Para isso, será avaliado o comportamento da secagem, variando-se a temperatura e a velocidade do ar e a espessura do material.

Metodologia

A amostra submetida à secagem foi o resíduo proveniente da laranja processada em casa, em um espremedor convencional. Após o processamento da laranja, os resíduos obtidos foram triturados em um mixer para a homogeneização do material. A amostra foi levada ao congelador por 10 horas.

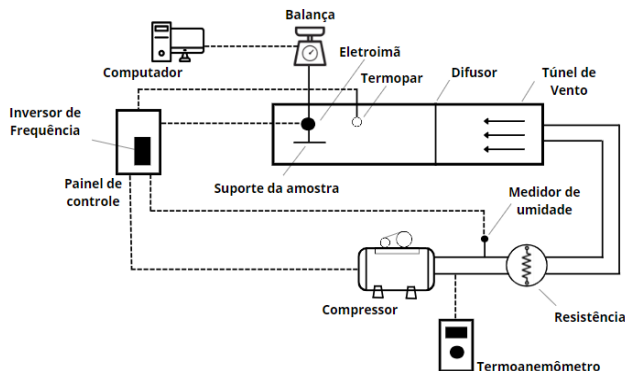
Figura 1: Bagaço da laranja homogeneizado.



Fonte: Autoria própria.

A unidade experimental utilizada foi um secador de túnel de túnel de vento, conforme Figura 2. O fluido de ar gerado pelo compressor é aquecido pela resistência até atingir a temperatura escolhida. O termopar acoplado no secador monitora a temperatura. No painel de controle, o inversor de frequência controla a frequência de rotação do compressor, ou seja, a velocidade do ar. Assim, o fluido aquecido se movimenta através do túnel de vento, e se desloca até a amostra, proporcionando os fenômenos de transferência de calor e massa quando o ar quente entra em contato com o material úmido. A secagem ocorre pela passagem de ar perpendicular à amostra.

Figura 2: Esquema secador tipo túnel de leito fixo e camada delgada.



Fonte: Autoria própria.

No procedimento experimental realizado, o bagaço de laranja foi inserido em formas de alumínio, com espessura variando entre 1 e 2 cm. Depois, estas foram introduzidas no secador e a cada 10 min a amostra foi pesada automaticamente pela balança ligada ao secador. Após o término da secagem, quando a massa deixou de variar significativamente com o tempo, as amostras foram levadas a uma estufa a temperatura de 105 °C para obtenção da massa seca por um período de 24 h. As amostras foram colocadas em um dessecador por 30 minutos para resfriamento antes da pesagem final.

Figura 3 - Bagaço de Laranja seco.



Fonte: Autoria própria.

A Equação 1 foi utilizada para a adimensionalização da umidade em base seca (b.s.), tornando possível a construção das curvas de secagem.

$$X^* = \frac{X_n - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (1)$$

Em que:

- X* - Umidade adimensional [-];
- X_{eq} - Umidade de equilíbrio [g H₂O/g sólido seco];
- X₀ - Umidade inicial [g H₂O/g sólido seco];
- X_n - Umidade no ponto n [g H₂O/g sólido seco].

Para a realização dos experimentos de secagem do bagaço de laranja foi utilizado um planejamento experimental, com três variáveis independentes (temperatura do ar, velocidade do ar e espessura do material), tendo como variável resposta, a umidade do bagaço de laranja e o tempo. A Tabela 1 mostra as condições operacionais estudadas cujos valores foram baseados no planejamento experimental.

Tabela 1: Planejamento dos experimentos.

| Ensaio | Temperatura [°C] | Velocidade [m/s] | Espessura [cm] |
|--------|------------------|------------------|----------------|
| 1 | 100 | 1 | 2 |
| 2 | 110 | 1,5 | 1,5 |
| 3 | 120 | 1 | 2 |
| 4 | 96,47 | 1,5 | 1,5 |
| 5 | 120 | 1 | 1 |
| 6 | 120 | 2 | 2 |
| 7 | 110 | 0,82 | 1,5 |
| 8 | 120 | 2 | 1 |
| 9 | 110 | 2,17 | 1,5 |
| 10 | 100 | 2 | 1 |
| 11 | 123,5 | 1,5 | 1,5 |
| 12 | 100 | 2 | 2 |
| 13 | 110 | 1,5 | 1,5 |
| 14 | 100 | 1 | 1 |
| 15 | 110 | 1,5 | 1,5 |
| 16 | 110 | 1,5 | 0,82 |
| 17 | 110 | 1,5 | 2,17 |

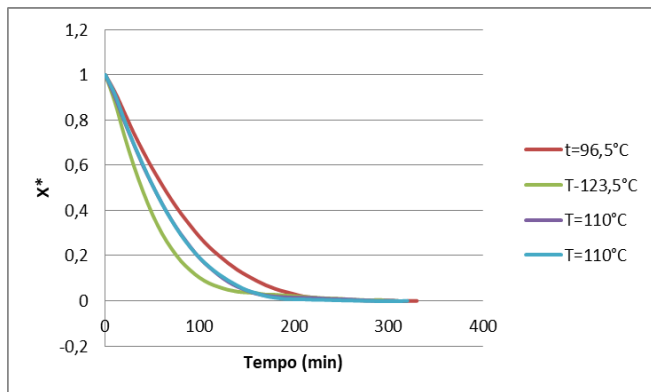
Fonte: Autoria Própria.

Resultados e discussão

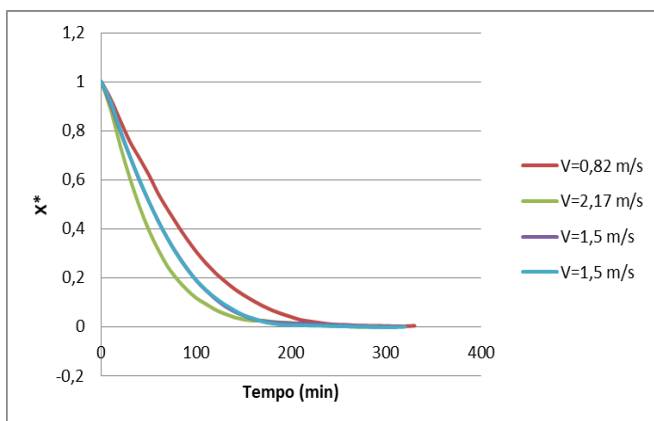
A Figura 4 mostra as curvas de secagem do bagaço de laranja analisando os efeitos da temperatura, espessura e velocidade do ar. Assim, foi gerado o gráfico da umidade adimensional em função do tempo para a temperatura analisada de 110°C para uma condição de velocidade e espessura, o gráfico da umidade adimensional em função do tempo para a condição de velocidade analisada de 1,5 m/s para um dado valor de temperatura e espessura e o gráfico da umidade

adimensional em função do tempo para a espessura analisada de 1,5 cm para um dado valor de temperatura e velocidade.

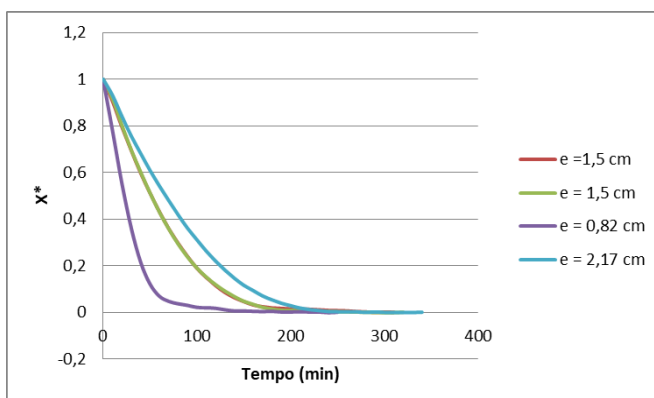
Figura 4 - Curva de secagem: (a) Velocidade de 1,5 m/s e espessura de 1,5 cm, (b) Temperatura de 110 °C e espessura de 1,5 cm, (c) Temperatura de 110 °C e velocidade de 1,5 m/s.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a Figura 4, notou-se que a umidade do

material diminui com o tempo, conforme esperado, até o momento em que o equilíbrio dinâmico foi atingido. O gráfico (a) apresenta o comportamento da umidade considerando a velocidade e espessura fixa, mas variando a temperatura. Desse modo, foi possível observar que o menor tempo de secagem ocorre para maior temperatura, indicando que ocorreu uma maior evaporação da água nessa condição. Isso ocorre porque a elevação da temperatura contribui para o aumento da agitação das moléculas, intensificando a transferência de massa.

O gráfico (b) mostra o comportamento da umidade considerando a temperatura e a espessura fixa, mas variando a velocidade de escoamento do ar. Pode-se visualizar que na menor velocidade (0,82 m/s) o tempo de secagem foi maior. Notou-se também que a variação de velocidade de 1,5 para 2,17 m/s apresentou menor incremento de tempo de secagem em relação à variação de 0,82 para 1,5 m/s. Como a secagem ocorre pela passagem de ar perpendicular à amostra, o ar quente tem que se difundir através da camada limite presente na superfície do material. Assim, a camada limite atua como uma resistência para a transferência de calor e para remoção da umidade. Logo, se a velocidade é alta, a espessura da camada limite é menor, favorecendo a transferência de massa e calor.

No gráfico (c), variando apenas a espessura do material, identificou-se o tempo de secagem maior para a espessura de 2,17 cm. A secagem é caracterizada por uma fase inicial na qual a perda da umidade acontece rapidamente. Isso ocorre, pois a superfície do material apresenta água livre que é eliminada com facilidade, assim, a transferência de massa ocorre sem que haja interferência da amostra. Na fase intermediária e final da secagem, a remoção da umidade ocorre de forma mais lenta, pois toda a umidade da superfície já foi retirada, assim a umidade presente no interior do sólido, entre os poros, migra para a superfície (água ligada), dificultando a transferência de massa devido à resistência imposta à difusão de água pela estrutura do sólido [5]. Para espessura menor, a difusão da água é facilitada.

De uma forma geral, observou-se que a secagem ocorre mais rápido quando a temperatura é maior, pois a quantidade de energia fornecida ao sistema é mais significativa, ocasionando um aumento na taxa de evaporação devido à maior adição de energia térmica no sistema. Além disso, a velocidade do ar influencia no tempo de secagem, visto que durante a secagem por convecção, a superfície do material é submetida ao transporte de calor e massa, devido ao fluxo de ar de secagem. E para espessuras menores a taxa de secagem também é mais rápida visto que a resistência imposta à difusão da água é menor, assim a umidade no interior do

sólido é eliminada com maior facilidade.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a análise da cinética de secagem do resíduo de laranja. Os experimentos de secagem mostraram que a temperatura do ar, velocidade do ar e espessura do material influenciam no processo. A fase inicial da secagem ocorre rapidamente visto que a água livre presente na superfície do material é submetida a transferência de massa e calor por convecção. Logo, é necessário maior velocidade da ar para que a resistência imposta pela camada limite seja menor. Contudo, a fase final da secagem ocorre lentamente, pois o material apresenta grande quantidade de água ligada indicando que o transporte de massa por difusão controla o processo. Assim, é necessário temperaturas e menor espessura do material para vencer a resistência imposta à difusão de água pela estrutura do sólido.

Em estudos futuros, os resultados obtidos serão utilizados para estimar o tempo de secagem que será utilizado no projeto do secador industrial a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica da secagem do resíduo de laranja para aplicações de energias renováveis.

Agradecimento

Eu agradeço a minha família por todo apoio e ser fonte de inspiração para realizar meus estudos. Ao Prof^o. Dr. Hugo Perazzini, por todo incentivo, orientação e por ter me dado à oportunidade de realizar esse trabalho. Ao técnico Raphael Felca Glória e a todos envolvidos no Laboratório de Sistemas Particulados da Unifei-Itajubá que me auxiliaram. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa para a realização deste estudo. E a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) por ter me proporcionado essa pesquisa.

Referências

[1] SILVA, J. et al. Bionergetic potencial of Pokan peel waste (*Citrus reticulata*) pyrolysis by kinetic modelling and product characterization. 2019.

[2] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. Citrus: World Markets and Trade. USDA. 11p., Jul. 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>>

[3] LOTITO et al. Biomethanization of citrus waste: Effect of waste characteristics and of storage on treatability and evaluation of limonene degradation. 2018.

[4] ZEMA, D.A. et al. Valorisation of citrus processing waste: A review. Artigo – Waste Management, v. 80, p. 252-273, 2018.

[5] JUNIOR, C.C.C. Resíduo de laranja: cinética de secagem e extração de óleo essencial. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.