

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DA BORRA DE CAFÉ

JULIANA CRUZ ALBUQUERQUE^{1*}; RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA¹;
TALYSON SUERLAN BEZERRA DE SOUZA³; RENATA DUARTE ALMEIDA⁴;
MARCELLO MAIA DE ALMEIDA⁵

¹ Graduada em Química Industrial. UEPB, Campina Grande-PB, julianalbuquerquepb@hotmail.com;

² Pós graduação em Engenharia Química. UFCG, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com;

³ Graduado em Química Industrial, UEPB, Campina Grande-PB, talyssonsbs@hotmail.com;

⁴ Dr^a. do Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, renatadual@yahoo.com.br

⁵ Dr. Prof. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UEPB, Campina Grande-PB,
marcello_maia2000@yahoo.com.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O referente trabalho estuda a cinética de secagem do resíduo da borra de café. Este resíduo sólido apresenta substâncias com potencial de reutilização em diferentes processos, como extração de lipídios. Porém, devido esse resíduo possuir um elevado teor de umidade torna-se necessário diminuir a sua atividade de água, para que dessa forma evite-se a degradação química e biológica e melhore as condições de seu transporte e armazenamento. Realizou-se a secagem em estufa com circulação de ar. As variáveis independentes foram à temperatura de 50, 60 e 70 °C, a massa de 300, 400 e 500 g e tempo de secagem de 8, 10 e 12 horas. De acordo, com os modelos empíricos utilizados no presente trabalho verificou-se que o modelo Logarítmico ajustou-se melhor os dados experimentais da cinética de secagem, apresentando o Coeficiente de Determinação maior que 99,00% e valores mais baixos do Desvio quadrático Médio (DQM), quando comparados aos resultados utilizando os modelos matemáticos de Dois termo e o modelo de Lewis.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos matemáticos, resíduo, temperatura.

MATHEMATICAL MODELING OF KEEP DRYING KINETICS

ABSTRACT: The reference work studies the drying kinetics of coffee residue. This solid residue presents substances with potential for reuse in different processes, such as lipid extraction. However, because this residue has a high moisture content, it is necessary to reduce its water activity, in order to avoid chemical and biological degradation and improve the conditions of its transportation and storage. Drying was carried out in a greenhouse with air circulation. The independent variables were at the temperature of 50, 60 and 70 °C, the mass of 300, 400 and 500 g and drying time of 8, 10 and 12 hours. According to the empirical models used in the present work, it was verified that the logarithmic model fitted better the experimental data of the drying kinetics, presenting the Determination Coefficient greater than 99.00% and lower values of the Mean Squared Deviation (DQM), when compared to the results using the mathematical models of Two term and the Lewis model.

KEYWORDS: Mathematical models, residue, temperature.

INTRODUÇÃO

O café, bebida escura, aromática, não alcoólica, produzida a partir de grãos do fruto do cafeeiro torrados e moídos é a segunda bebida mais popular do mundo, sendo que um terço da população mundial a consome mais do que qualquer outra bebida (à exceção da água) (George et al., 2008). A borra de café é o resíduo sólido gerado após a extração aquosa á quente a qual são submetidos os grãos de café torrados e moídos ou o resíduo sólido gerado no processo de produção industrial do café solúvel (Bravo et al., 2013). A quantidade gerada desse resíduo é proporcional à quantidade de café consumido. Estima-se que para cada tonelada de café verde processado sejam

gerados 650 kg de borra de café e para cada quilo de café solúvel produzido, sejam gerados 2 kg desse mesmo resíduo (Murthy & Naidu, 2012).

A remoção da umidade é importante para a conservação da borra de café previamente ao seu uso e também para facilitar o transporte e o armazenamento e possibilitar a extração de compostos hidrofóbicos de interesse tais como os lipídios (Abdullah & Koc, 2013). A utilização de modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa em alimentos é uma ferramenta cada vez mais explorada pelos pesquisadores, sendo de grande utilidade para o cálculo do desenvolvimento eficiente de cada análise, tendo em vista a melhoria no processamento, redução de perdas e aumento da qualidade do produto final (Dantas et al., 2011).

São considerados resíduos de origem agrícola aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como exemplo, resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento ou as palhas, cascas de frutos, cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (Saiter, 2008). O presente trabalho tem como objetivo o estudo da secagem e o aproveitamento do resíduo da borra de café, a fim de obter produtos secos e com teores de umidades diferentes para posterior estudo do efeito desta variável sobre a extração de lipídeos da borra de café.

MATERIAL E MÉTODOS

A matéria prima utilizada no presente trabalho foi à borra de café proveniente da praça de alimentação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, CAMPUS I. As amostras foram coletadas no dia da realização da secagem, de acordo com o planejamento fatorial elaborado. Sendo necessário que as amostras fossem mantidas sob-refrigeração para evitar a contaminação e deterioração do resíduo.

Inicialmente, determinou-se a umidade inicial da amostra com uma balança determinadora de umidade com infravermelho (ID200 – determinador de umidade 200g – Marte). A análise foi realizada em triplicata.

Para a cinética de secagem pesou-se a massa inicial do resíduo em balança analítica, utilizando bandejas em alumínio. A cinética de secagem foi realizada pesando-se a massa do resíduo em intervalos de tempos regulares. Nas primeiras três horas de secagem, pesou-se a massa do resíduo em um intervalo de tempo de cinco em cinco minutos, a partir da quarta hora de secagem, pesou-se o experimento de dez em dez minutos, a partir da sexta hora de secagem de trinta em trinta minutos, e a partir da dez horas de secagem de uma em uma hora.

O processo de secagem foi conduzido em estufa com circulação de ar. As curvas de secagem foram realizadas de acordo com um planejamento fatorial de 2^3 com três repetições no ponto central. Os parâmetros controlados para a obtenção do resíduo seco com diferentes níveis de umidade foram: temperatura (50°C, 60°C e 70°C), massa (300, 400 e 500g) e tempo de secagem (8, 10 e 12 horas).

A partir dos dados de umidade em base seca, definidos em função do tempo de secagem do processo, foram construídas as curvas da cinética de secagem para cada experimento. A partir dos dados da cinética de secagem foram construídas as curvas da taxa de secagem em função da umidade média.

As curvas de secagem, razão do teor de umidade adimensional em função do tempo, foram ajustadas aos modelos matemáticos: Dois termos, Logarítmico e Lewis, segundo as equações apresentadas na Tabela 1. Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos empíricos será utilizado como critério o coeficiente de determinação e o desvio quadrático médio DQM.

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem do resíduo da borra de café.

EQUAÇÕES	MODELOS
$RX=a \cdot \exp(-k \cdot t)+b \cdot \exp(-k \cdot t)$	Dois termos
$RX=a \cdot \exp -k \cdot t+c$	Logarítmico

$$RX = \exp(-k.t)$$

Lewis

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados todos os parâmetros para os 3 modelos matemáticos aplicados aos dados experimentais na secagem da borra do café e seus respectivos coeficientes de Determinação (R^2) e Desvios quadráticos médios (DQM)

Tabela 2 - Parâmetros obtidos pela aplicação dos 3 modelos matemático.

Experimento	Dois termos					Logarítmico				Lewis			
	a	k	b	R ² %	DQM	a	k	c	R ² %	DQM	k	R ² %	DQM
1	0,5467	0,00682	0,5467	0,989	0,066	1,2447	0,00462	-0,19559	0,997	0,028	0,0061	0,984	0,066
2	0,5396	0,00475	0,5396	0,989	0,058	1,5771	0,00218	-0,55853	0,999	0,004	0,0045	0,983	0,058
3	0,5508	0,00643	0,5509	0,990	0,060	1,1875	0,00494	-0,12014	0,995	0,027	0,0058	0,985	0,060
4	0,5383	0,00338	0,5383	0,990	0,042	1,4072	0,00183	-0,38443	0,999	0,006	0,0031	0,985	0,050
5	0,5490	0,01332	0,5490	0,991	0,048	1,1420	0,01170	-0,06095	0,993	0,039	0,0120	0,986	0,059
6	0,5530	0,00775	0,5530	0,991	0,049	1,1950	0,00591	-0,12437	0,996	0,031	0,0069	0,985	0,064
7	0,5538	0,01235	0,5538	0,991	0,046	1,1496	0,01064	-0,06379	0,994	0,036	0,0110	0,986	0,059
8	0,5440	0,00553	0,5440	0,993	0,040	1,1766	0,00424	-0,12201	0,997	0,022	0,0050	0,988	0,052
9	0,5421	0,00581	0,5421	0,990	0,048	1,1753	0,00447	-0,12258	0,994	0,037	0,0053	0,985	0,058
10	0,5456	0,00655	0,5456	0,992	0,042	1,1692	0,00511	-0,11086	0,997	0,025	0,0060	0,988	0,053
11	0,5318	0,00695	0,5318	0,996	0,031	1,1146	0,00574	-0,07753	0,998	0,017	0,0065	0,993	0,038

Fonte: Autor (2018)

Verifica-se na Tabela 2 supracitadas que todos os modelos analisados apresentaram um Coeficiente de Determinação maior que 98%. O modelo que melhor descreveu o processo de secagem foi o modelo Logarítmico, cujo valor do Coeficiente de Determinação para todos os ensaios realizados foram sempre superiores a 99%. Porém, o R^2 é apenas um indicativo para predizer a qualidade do ajuste. Todos os modelos avaliados também apresentaram baixos valores de DQM podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem da borra de café. Estes resultados comprovam a boa concordância do modelo aos dados experimentais.

Pode-se observar nas Figuras 1, 2 e 3 respectivamente, que o nível de temperatura exerce grande influência na secagem do produto. Portanto, a secagem com temperatura constante a 70°C, faz com que o produto perca umidade bem mais rápido que a secagem realizada a 50°C, tendendo a um teor de umidade de equilíbrio reduzido.

FIGURA 1. Razão do teor de água em função do tempo na temperatura a 50°C para os experimentos de 1, 2, 3 e 4 pelo modelo logarítmico .

FIGURA 2. Razão do teor de água em função do tempo na temperatura a 70°C para os experimentos de 5, 6, 7, e 8 pelo modelo de modelo logarítmico

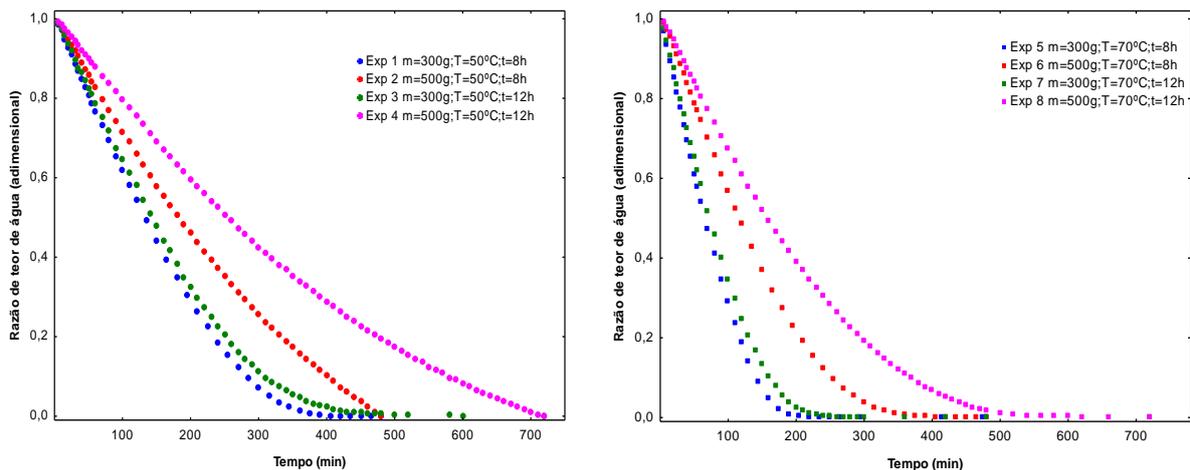
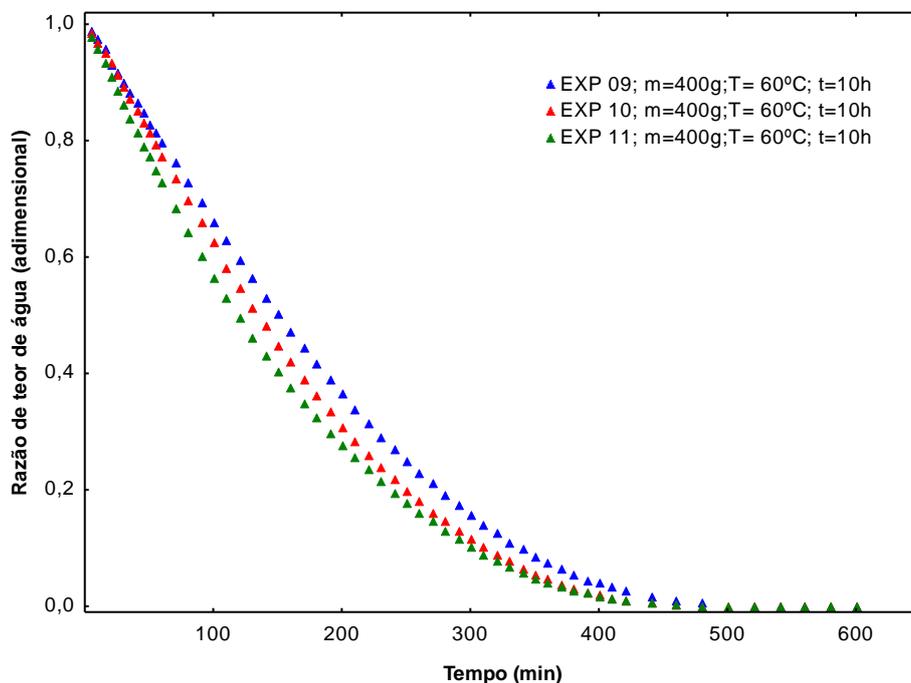


FIGURA 3. Razão do teor de água em função do tempo na temperatura a 60°C para os experimentos de 9, 10, e 11 pelo modelo logarítmico.



Nas Figuras 1, 2 e 3 o comportamento da secagem da borra de café sendo seca nas temperaturas a 50, 60 e 70°C, e ajustadas ao modelo matemático Logarítmico, observa-se ao teor de umidade adimensional em função do tempo. Verifica-se que o teor de umidade decresce lentamente com o tempo, para o caso de secagem a baixa temperatura. Pode-se observar nos gráficos, que o nível de temperatura exerce grande influência na secagem do produto. Portanto, a secagem com temperatura constante a 70°C, leva o produto a perder umidade bem mais rápido que a secagem realizada a 50°C, tendendo a um teor de umidade de equilíbrio em um tempo bem menor.

De acordo com o previsto no planejamento experimental, a Figura 3 representa as curvas de secagem do ponto central, 60°C, com suas respectivas triplicatas. Pôde-se observar comportamento semelhante, não havendo total reprodutibilidade devido ao fato de que as amostras do mesmo lote não foram secas no mesmo dia, ficando armazenadas em geladeira, modificando assim a umidade inicial das mesmas. A umidade de equilíbrio foi atingida a partir das nove horas de secagem. Observou-se que as curvas da taxa de secagem dos experimentos 2 e 4 apresentaram a existência de dois períodos de secagem, o período de indução e o de taxa constante. O período de taxa decrescente foi interrompido, pelo fato dos experimentos conterem uma variável de temperatura de 50°C, e o tempo

utilizado no processo de secagem não ser suficiente para atingir a umidade de equilíbrio, entretanto o experimento 4, temperatura de secagem de 12 horas, chegou próximo de atingir a umidade de equilíbrio.

É importante evidenciar que no período de taxa decrescente há um aumento na resistência interna e o movimento do líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado (Costa, 2010). Mediante os resultados verificou-se que a variação da velocidade de secagem sofre influência na temperatura de secagem. Pode-se observar que os ensaios com maior temperatura, mostraram-se capazes de atingir a umidade de equilíbrio mais rápido.

CONCLUSÃO

Observou-se que conforme os dados experimentais da secagem do resíduo da borra de café, os mesmos ajustaram-se aos modelos matemáticos estudados, podendo ser aplicados na predição da secagem da borra de café, sendo que o melhor resultado encontrado foi para o modelo matemático Logarítmico. Foram encontrados valores mais baixos do Desvio quadrático médio (DQM) quando comparados aos resultados utilizando outros modelos.

REFERÊNCIAS

- Abdullah, M.; Koc, A. B. Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication. *Renewable energy*, v. 50, p. 965-970, 2013.
- Bravo, J.; Monente, C.; Juárez, I.; De Peña, M. P.; Cid, C. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, v.50, n.2, p.610-616, 2013.
- Costa, S. M. Princípio de secagem de alimentos, platina DF, 2010.
- Dantas, L. A.; Mata, M.; Duarte, M. E. M. Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindust*, v.13, n.3, p.309-318, 2011.
- George, S. E.; Ramalakshmi, K.; Mohan Rao, L. J. A perception on health benefits of coffee. *Critical reviews in food science and nutrition*, v.48, n.5, p.464-486, 2008.
- Murthy, P. S.; Naidu, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and recycling*, v.66, p.45-58, 2012.
- Saiter, O.; De Souza, N. D.; Gonçalves De Oliveira, E. A.; De Felice Elias, T.; Tavares, R. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. *Revista Ceres*, v.58, n.6, 2011.