



2ª Lista de Exercícios
Transferência de Massa: Secagem (cinética)

1. Considere a secagem convectiva de fatias de cenoura (3 mm de espessura, 37 mm de diâmetro), com ar a 40 e 60 °C e 2 m/s, cujos dados são apresentados nas Tabelas 1 e 2 (Ricke et al., 2016):

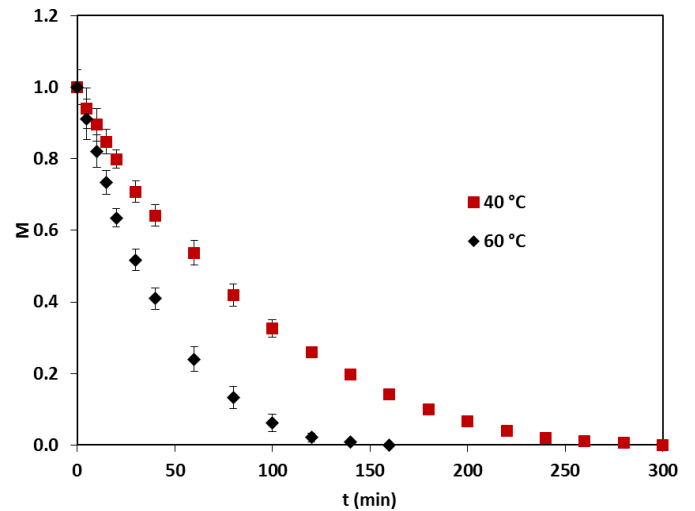
Tabela 1: Secagem convectiva a 40 °C

t (min)	Umidade inicial: 89,90 % _{ob.u.} (g H ₂ O/100 g produto)			
	m (g)	U _{b.u.} (g H ₂ O/100 g produto)	U _{b.s.} (g H ₂ O/100 g sólidos)	MR
0	15,88	89,90		
30	11,68			
100	6,23			
200	2,8			
240	2,15			
280	2,00			
320	1,99			

Tabela 2: Secagem convectiva a 60 °C

t (min)	Umidade inicial: 85,06 % _{ob.u.} (g H ₂ O/100 g produto)			
	m (g)	U _{b.u.} (g H ₂ O/100 g produto)	U _{b.s.} (g H ₂ O/100 g sólidos)	MR
0	14,55	85,06		
15	11,19			
30	8,52			
40	7,03			
60	4,77			
80	3,36			
100	2,51			

a) Com base nos resultados apresentados (as curvas completas são apresentadas ao lado), calcule a umidade em base úmida ($U_{b.u.}$), em base seca ($U_{b.s.}$), e adimensional (MR) ao longo do processo. Observe que MR é calculada em relação às umidades (em base seca) inicial e no equilíbrio (considere o último valor das tabelas).

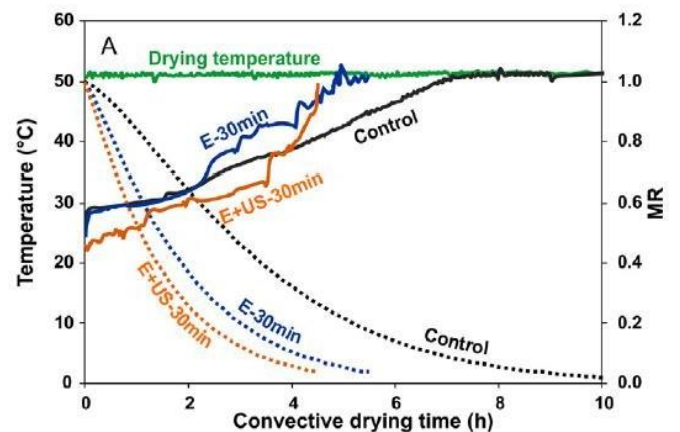


b) Ajuste os dados ao modelo de cinética de primeira ordem (Lewis, 1921) e compare os resultados obtidos:

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_o - M_\infty} = e^{-kt}$$

c) Estime a Energia de Ativação para o parâmetro cinético segundo o Modelo de Arrhenius.

2. O gráfico a seguir (Rojas et al., 2020) apresenta a curva de secagem convectiva de cilindros de abóbora, bem como as temperaturas do ar e do ponto frio dos cilindros, considerando três tratamentos: controle e após pré-tratamento com etanol (E-30min) e etanol e ultrassom (E+US-30min). Explique a diferença de temperatura entre o ar e o produto.



3. A tabela a seguir descreve a secagem convectiva (50°C, 1 m/s) de cilindros de abacaxi (1,5 cm de diâmetro, 1,0 cm de altura) – Carvalho et al. (2019). Ajuste os dados ao modelo de cinética de primeira ordem (Lewis, 1921).

t (min)	MR
0	1,00
90	0,66
180	0,48
300	0,30
420	0,19
540	0,12
660	0,08
780	0,05
1080	0,02
1200	0,01

4. Considere a secagem convectiva a 50°C e 1,0 m/s de determinado vegetal. Sabe-se que esse processo é descrito pelo modelo de cinética de primeira ordem, com parâmetro cinético igual a 0,015 min⁻¹. Qual o tempo necessário para secagem até 25% de umidade em base úmida? Sabe-se que a umidade inicial do produto é 600 %_{b.s.}, sendo a umidade de equilíbrio 22 %_{b.s.}. Lembre-se que a umidade adimensional (MR) é calculada em relação às umidades em base seca.

5. Considere a secagem convectiva a 60°C e 1,0 m/s de fatias de cenoura. A tabela a seguir apresenta a curva de secagem, apresentando a umidade em base úmida (M_{b.u.}), em base seca (M_{b.s.}), bem como na forma adimensional (MR). Finalize o preenchimento da tabela e calcule a constante de secagem, considerando cinética de primeira ordem.

t (min)	M _{b.u.} (g H ₂ O/100 g produto)	M _{b.s.} (g H ₂ O/100 g sólidos)	MR
0	85.7	600.0	1.000
15	81.9		
40	73.9	283.4	0.449
60	66.5	198.2	0.301
80	58.5	141.1	0.202
100	20.0	25.0	0.135

Referências

Carvalho, G.R.; Massarioli, A.P.; Alvim, I.D.; Augusto, P.E.D. (2020). Iron-Fortified Pineapple Chips Produced Using Microencapsulation, Ethanol, Ultrasound and Convective Drying. *Food Engineering Reviews*, *in press*.

Lewis, W. (1921). The rate of drying of solid materials. *Industrial & Engineering Chemistry*, 13 (5), 427–432.

Ricce, C.K.; Rojas, M.L.; Miano, A.C.; Siche, R.; Augusto, P.E.D. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701-708.

Rojas, M.L.; Silveira, I.; Augusto, P.E.D. (2020). Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. *Food and Bioprocess Processing*, 119, 20-30.

Respostas

1. b) $k_{40^{\circ}\text{C}} = 0,0203 \text{ min}^{-1}$, $k_{60^{\circ}\text{C}} = 0,0297 \text{ min}^{-1}$; c) $E_a = 16.487 \text{ J/mol}$; 3. $k = 0,004 \text{ min}^{-1}$; 4. 4,4 h ; 5. $k = 0,02 \text{ min}^{-1}$