

Análise da Secagem de Folhas e Hastes de Hortelã em Camada Fina

T. M. KONDO¹, A. H. ROSANOVA², M.C. FERREIRA¹

¹ Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Federal de São Carlos, PPG-EQ

E-mail para contato: tiemi.kondo@hotmail.com

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo analisar a cinética de secagem das folhas e hastes da hortelã-comum (*Mentha x villosa* Huds) em camada fina. Inicialmente, foi analisada a secagem das folhas, posteriormente das hastes e por fim, do conjunto formado por folhas e hastes, de forma combinada. Além de comparar as cinéticas de secagem dos diferentes materiais, foram avaliadas também a influência da temperatura e a influência da velocidade do ar no processo de secagem convectiva em camada-fina. A partir do ajuste dos dados experimentais à equação empírica de Lewis, foram estimados parâmetros cinéticos visando à estimativa das taxas de secagem para cada situação.

1. INTRODUÇÃO

A hortelã pertence à família *Lamiaceae* e ao gênero *menthe*, que apresenta uma vasta gama de espécies como a hortelã-verde (*Mentha spicata*), hortelã-crespa (*Mentha crispa*) e hortelãzinha (*Mentha pulegium*), além da hortelã-comum (*Mentha x villosa* Huds) (COSTA, 2013), a variedade mais encontrada no Brasil.

Por se tratar de um material biológico, a hortelã começa a se degradar irreversivelmente a partir do momento em que é colhida. Por isso, deve ser comercializada e consumida imediatamente, ou, para permitir a conservação por períodos de tempo maiores, deve ser desidratada o mais rapidamente possível, visando minimizar perdas dos princípios ativos. A secagem convectiva é um dos métodos mais utilizados para a preservação da hortelã, porque facilita o manuseio, transporte e armazenagem já que reduz o volume a ser processado, e permite o processamento e extração de óleos essenciais independentemente da sazonalidade.

A planta é composta por folhas e hastes, e essas duas partes apresentam características físicas, muito distintas. Quando comparadas com as hastes, as folhas possuem menor espessura, maior área superficial e menor umidade inicial (Rosanova et al., 2017). Essas diferenças podem impactar a homogeneidade da secagem de ramos de hortelã.

O objetivo deste estudo foi analisar a secagem convectiva em camada-fina de folhas, hastes e ramos, compostos pelos dois primeiros, visando comparar o comportamento de cada material e avaliar, por meio de equações empíricas, as taxas de secagem.

2. METODOLOGIA

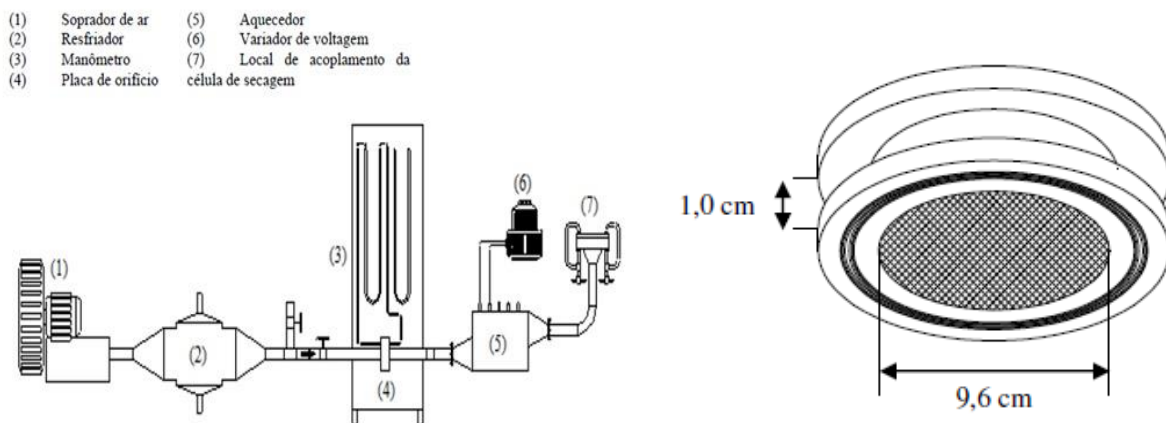
Para este estudo a hortelã-comum, da espécie *Mentha x villosa* Huds, foi obtida no comércio local de São Carlos. As plantas foram selecionadas, lavadas com água corrente e secas com folhas de papel absorvente. As folhas foram separadas das hastes manualmente para os ensaios de secagem de folhas e hastes individualmente. As folhas foram utilizadas

inteiras, as hastes picadas. Para a secagem do conjunto, utilizou-se os caules com as folhas, também picados em comprimentos adequados às dimensões da célula de medida.

2.1 Equipamentos

Nos ensaios foi utilizada uma linha de fornecimento de ar, ilustrada esquematicamente na Figura 1(a). O ar era fornecido por um soprador (1) de 7,5HP, e sua vazão era ajustada por duas válvulas do tipo gaveta e determinada pela leitura da diferença de pressão em um manômetro de água do tipo U, conectado a um medidor de vazão tipo dupla placa de orifício. O ar era aquecido por um aquecedor elétrico (5) de 2500W, ligado a um variador de voltagem (6), escoava por uma tubulação de 5,0 cm de diâmetro e ao final desta tubulação uma expansão cônica metálica foi adicionada, com o objetivo de aumentar o diâmetro da tubulação de 5,0 cm para 10,0 cm. A fim de uniformizar o escoamento do ar que chegava a célula adicionou-se, após a expansão, um sistema distribuidor constituído por um leito fixo de esferas de vidro ($d_p=2,8$ cm), com 3,0 cm de espessura, que ficava preso entre duas telas metálicas. A célula de secagem em camada fina foi acoplada a extremidade do duto (7). A célula de secagem (Figura 2) possuía uma tela metálica em cada uma de suas extremidades e um orifício para inserção do termopar em sua base, com o qual era feita a leitura da temperatura do ar na entrada da célula. As dimensões da célula estão indicadas na Figura 2. Foi adotada espessura de 1 cm com base em recomendação de Lima (2013), que verificou experimentalmente a condição de camada-fina para secagem de folhas em condições similares às usadas no presente estudo.

Figura 1- (a) Linha de fornecimento de ar; (b) célula de medida



Fonte: Adaptado de Lima, 2013.

2.2 Procedimento Experimental

Os ensaios foram feitos inicialmente apenas com leitos constituídos pelas folhas da planta, posteriormente por leitos constituídos apenas pelas hastes e por fim leitos formados pelas hastes juntamente com as folhas. Uma massa de 8 g de material era inserida na célula de secagem em pequenas quantidades, e após cada adição eram realizadas batidas na célula, a fim de acomodar as folhas, hastes ou ramos, com composição mássica média de cerca de 70% folhas e 30% hastes. As temperaturas de 50 e 60°C foram escolhidas por serem utilizadas usualmente na secagem de plantas, assim como as velocidades de escoamento 1,0 e 1,5 m/s (COSTA, 2013; LIMA, 2012; PARK, 2002).

A alimentação de ar era iniciada e a temperatura e velocidade de escoamento do ar ajustadas. Esperava-se que o sistema atingisse uma condição de estabilidade, com temperatura constante, apenas depois disso a célula de secagem era acoplada à unidade experimental. Em intervalos de tempos a célula de secagem era retirada da unidade experimental e pesada em uma balança analítica da marca GEHAKA modelo BG400 com precisão de 0,001g, até que a variação entre 2 medidas consecutivas fosse menor do que 0,010g, indicando que a umidade de equilíbrio dinâmico foi atingida. Para uma avaliação da reprodutibilidade dos ensaios foram realizadas três repetições para cada condição de operação. Com os dados construiu-se curvas de umidade adimensional em função do tempo. A umidade adimensional é definida pela equação:

$$MR = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

onde U é umidade em um dado tempo, U_e é umidade de equilíbrio dinâmico e U_i é a umidade inicial.

Os dados experimentais foram ajustados à equação do modelo empírico de Lewis:

$$MR = \exp(-kt) \quad (2)$$

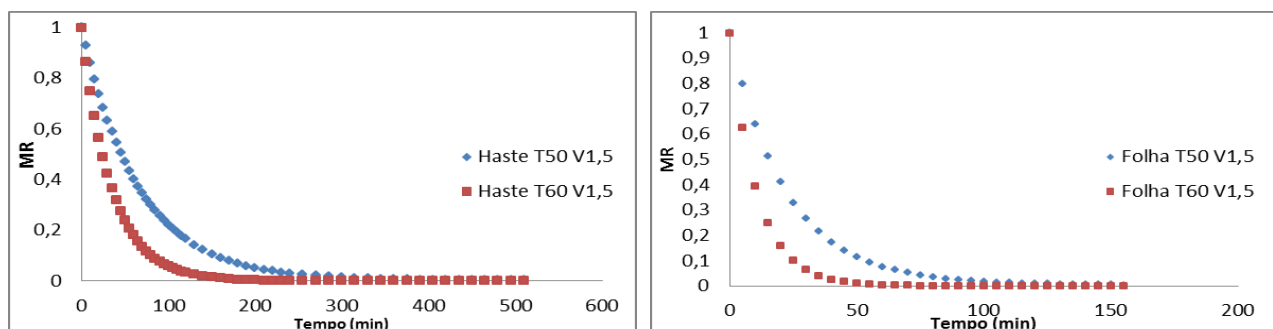
onde t é o tempo e k é o parâmetro de ajuste, denominado constante de secagem.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados e discutidos os dados obtidos neste trabalho.

Na Figura 2 é possível observar a influência da temperatura na secagem de folhas e hastes de hortelã para velocidade 1,5m/s.

Figura 2 – Umidade adimensional em função do tempo na secagem de hortelã para velocidade do ar de 1,5 m/s, (a) hastes; (b) folhas.



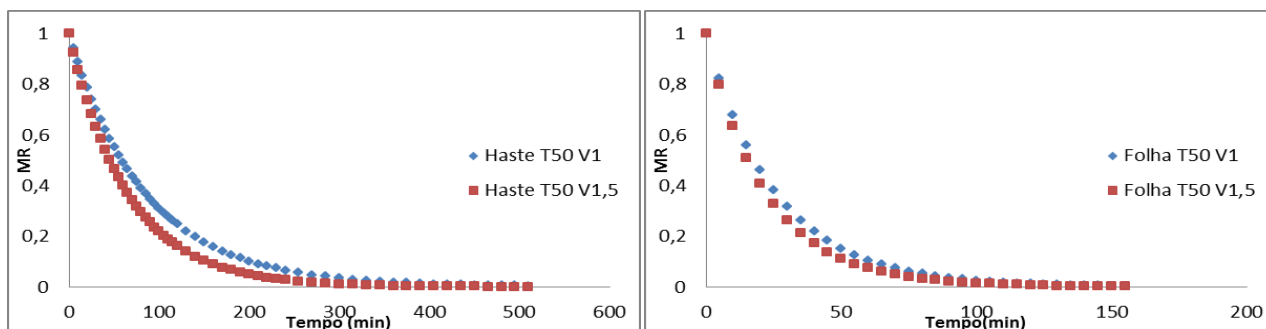
Fonte: Acervo pessoal, 2016.

Pode-se observar que a temperatura tem grande influência na taxa de secagem tanto das folhas como das hastes, pois com o aumento da temperatura observa-se um aumento significativo na taxa de secagem e, conseqüentemente, uma diminuição no tempo necessário para alcançar a umidade de equilíbrio. Analisando o gráfico das hastes, por exemplo, percebe-

se que a 60°C a secagem atinge o equilíbrio no tempo de 350 minutos aproximadamente, enquanto que para 50°C esse tempo ultrapassa os 500 minutos, o que evidencia que a taxa de secagem é maior a 60°C. Além disso, analisando os dados observa-se que a secagem ocorre, predominantemente, no período de taxa decrescente. Isso indica que o transporte interno de umidade, comandado por efeitos difusivos, é o mecanismo limitante no processo.

A velocidade apresenta uma influência muito pequena quando comparada com a influência da temperatura. Na figura 3, pode-se notar que o aumento da velocidade proporcionou variações pequenas na velocidade de secagem. Nos dois casos (hastes e folhas) a taxa de secagem foi ligeiramente maior para a velocidade de 1,5 m/s, o que é explicado pelo fato de que a uma temperatura fixa, o aumento de vazão implica no aumento da quantidade de energia fornecida ao processo, e consequentemente uma taxa de secagem mais elevada.

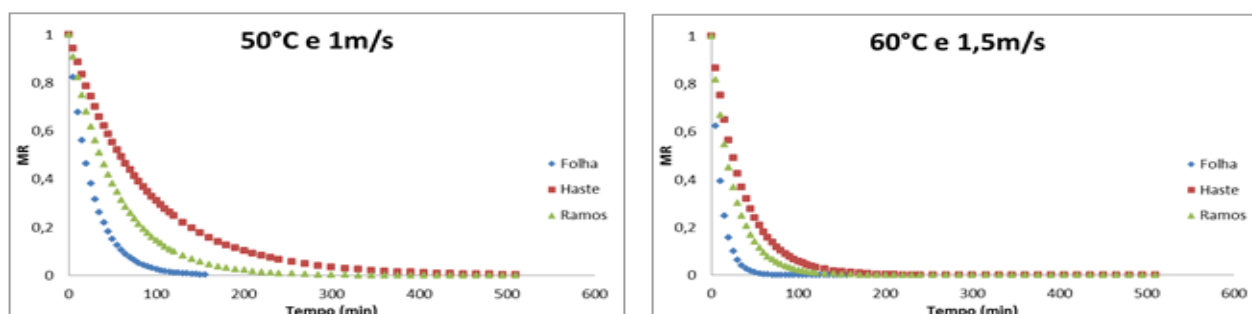
Figura 3 - Umidade adimensional em função do tempo na secagem de hortelã para temperatura do ar de 50°C, (a) hastes; (b) folhas.



Fonte: Acervo pessoal, 2016

Nas curvas apresentadas na Figura 5 podem ser comparadas as cinéticas de secagem das folhas, hastes e ramos de hortelã. Analisando essas curvas nota-se que as folhas apresentam maiores taxas de secagem, os ramos taxas intermediárias e as hastes apresentam as menores taxas.

Figura 4 - Comparação gráfica dos tipos de materiais para cada condição de secagem



Fonte: Acervo pessoal, 2016.

As diferenças nas taxas de secagem das folhas e hastes são explicadas pelas características dos materiais. Segundo Rosanova et al. (2017), o diâmetro das hastes da hortelã comum é em média $2,5 \pm 0,5$ mm e sua umidade inicial é 10 ± 3 g_{H2O}/g_{ss}. As folhas possuem espessura média de $0,18 \pm 0,02$ e umidade de 6 ± 1 g_{H2O}/g_{ss} e sua área superficial é cerca de 15 vezes maior que a área superficial das hastes. Assumindo que as difusividades efetivas sejam da mesma ordem de grandeza, comparativamente, as folhas oferecem menor resistência ao transporte de umidade devido a menor dimensão característica. Nota-se que as

estruturas físicas dos materiais também são diferentes, o que possivelmente contribui para as diferenças nas taxas de transporte de umidade. Os ramos se comportaram como o esperado, pois são constituídos de folhas e hastes e apresentaram uma taxa intermediária entre os dois materiais isolados.

Foi observado que no decorrer da secagem a hortelã sofria um encolhimento acentuado. Com isso, os leitos dos materiais não eram homogêneos, pois havia a formação de espaços vazios e canais preferenciais de passagem do ar, como pode ser visualizado nas fotos da Figura 5.

Figura 5 – Imagem da secagem de ramos em tempos de secagem distintos.



Fonte: Acervo Pessoal, 2016

Devido à falta de homogeneidade dos leitos, optou-se por utilizar o ajuste à equação empírica de Lewis (Equação 2) ao invés da análise clássica baseada na solução da 2ª Lei de Fick, que pressupõe a existência de meios homogêneos para o transporte de massa. Os valores de k ajustados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de k ajustados para cada condição de secagem.

Temperatura (°C)	Parâmetro k (min^{-1})					
	Folha		Haste		Ramos	
	Velocidade (m/s)					
	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
50	0,036	0,041	0,011	0,015	0,019	0,019
60	0,060	0,089	0,020	0,028	0,024	0,035

Fonte: Acervo pessoal, 2016.

Os valores de k obtidos corroboram a influência da temperatura na secagem da hortelã, pois para todas as condições há um aumento do parâmetro com o aumento da temperatura do ar de secagem. Nota-se que a influência é muito similar para folhas e hastes, em ambos os casos o parâmetro praticamente dobra de valor com o aumento de 10°C na temperatura. Para os ramos os parâmetros não chegam a dobrar de valor, mas sofrem um acréscimo considerável com o aumento da temperatura, por exemplo, à velocidade de $1,5 \text{ m/s}$ passam de $0,019 \text{ min}^{-1}$ para $0,035 \text{ min}^{-1}$. Na secagem condição de ramos a 50°C a constante de secagem se manteve igual a $0,019 \text{ min}^{-1}$, nas demais condições o aumento da velocidade acarretou um pequeno aumento no valor de k . Porém, essa influência não foi tão significativa quanto a influência da temperatura, a média dos acréscimos ficou em torno de 38%.

4. CONCLUSÃO

Por meio da análise dos dados obtidos foi observado concluir que a temperatura do ar tem maior influência na secagem convectiva das folhas e hastes de hortelã do que a velocidade do ar e que a secagem é controlada por mecanismos internos de transporte de umidade. Ao comparar a secagem dos diferentes materiais (hastes, folhas e ramos), mantendo as condições de secagem, notou-se que as folhas apresentam altas taxas de secagem quando comparadas com as hastes. Isso fez com que o tempo necessário para que o equilíbrio fosse atingido na secagem das hastes fosse muito maior do que na secagem das folhas. Assim, no caso da secagem de ramos pode-se produzir um material com umidade heterogênea. Os ramos apresentaram comportamento intermediário entre o de folhas e o de hastes. As constantes de secagem estimadas a partir dados experimentais variaram entre 0,036 e 0,089 min^{-1} para as folhas, entre 0,011 e 0,28 para as hastes e entre 0,019 e 0,035 para os ramos.

5. REFERÊNCIAS

- CORRÊA, C.C.; ALVES, A.S. *Plantas Medicinais como Alternativa de Negócios: caracterização e importância*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco.
- COSTA, A.B.S. *Secagem Convectiva de Folhas de Hortelã: Análise Baseada no Ajuste de Correlações Empíricas, Superfícies de Respostas e Redes Neurais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), PPG-EQ, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.
- LIMA, R.A.B. *Análise da secagem convectiva de folhas de manjeriço (Ocimum basilicum L.)*. Tese (Doutorado em Engenharia Química), PPG-EQ, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.
- LIMA, R.A.B.; FERREIRA, M. C. *Fluidized and vibrofluidized shallow beds of fresh leaves*. *Particuology*, v. 9, p. 139-147, 2011.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. *Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)*. *Journal of Food Engineering*, v. 51, p. 193-199, 2002.
- ROSANOVA, A.H.; FERREIRA, M.C. *Secagem de Hortelã em Secador de Cesto Rotativo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 19 a 22 de outubro de 2014, In: Anais do XX COBEQ, p. 1-10, 2014, Florianópolis, SC (CD-ROM).
- ROSANOVA, A.H., MAIA, G.; FREIRE, F.B.; FERREIRA, M.C. *A Neural based modeling approach for drying kinetics of mint branches and their fractions (leaves and stems)*. *Advances in Chemical Engineering and Science*, vol. 7, p. 154-174, 2017.