

SECADOR DE BANDEJA VIBRADA: TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA SECAGEM DE ERVA-MATE

Alice Teresa Valduga

Universidade Regional Integrada – Campus de Erechim e Universidade Federal de São Carlos-SP – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e recursos Naturais.

Av. Sete de Setembro 1621- Caixa Postal 743. 99700-000 Erechim – RS.

valice@uri.com.br

José Roberto Delalibera Finzer

Universidade Regional Integrada – Campus de Erechim; Universidade Federal de São Carlos-SP – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e recursos Naturais; Universidade Federal de Uberlândia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Caixa Postal 593 – 38400-902 – Uberlândia – MG, Brasil

jrdfinzer@ufu.br

Everton Fernando Zanoelo

Universidade Regional Integrada – Campus de Erechim

Av. Sete de Setembro 1621- Caixa Postal 743. 99700-000 Erechim – RS

everton.zanoelo@uri.com.br

Roberta Letícia Krüger

Universidade Regional Integrada – Campus de Erechim

Av. Sete de Setembro 1621- Caixa Postal 743. 99700-000 Erechim – RS

Resumo. Neste trabalho são apresentados as etapas do processamento de folhas de erva-mate e os processos de transferência de calor associados. O processamento consistiu em duas etapas, a inativação térmica de enzimas, denominada sapeco, seguindo-se a secagem das folhas em secador de bandeja vibrada. Folhas de erva-mate com umidade inicial de 61,9% (base úmida), foram colocadas no interior do sapecador, que foi disposto sobre chama direta e submetido à rotação de 80 rpm. A umidade final das folhas de erva-mate, após a inativação é de 10 a 14% (bu). Efetua-se a secagem das folhas, previamente sapecadas, no secador de bandeja vibrada. A vibração da bandeja, suportada por molas, é efetuada por dois vibradores elétricos de 0,33 hp, de massas desbalanceadas. A amplitude e frequência de vibração foram: 0,5 mm e 183 rd/s, o que implica no adimensional $A\omega^2/g = 1,7$. A umidade final das folhas de erva-mate, após secagem no secador de bandeja vibrada, com o ar de secagem escoando na temperatura de 64°C, foi inferior a 5% (bu). Com os dados obtidos no sapeco e na secagem foram calculados coeficientes de transferência de calor entre os gases de combustão-folhas (na inativação enzimática) e o ar de secagem-folhas (na secagem em bandeja vibrada).

Palavras chave: processamento de erva-mate, sapeco, secador de bandeja vibrada, coeficiente de transferência de calor.

1. Introdução

Diversos materiais, como fármacos, produtos biológicos e alimentícios são submetidos à secagem por convecção com o objetivo de preservar as suas propriedades. Os leitos vibrados tem sido amplamente usados para secagem condutiva ou convectiva de materiais granulares, pastas e pós. Nos secadores vibrados os esforços que atuam sobre as partículas são suaves, sendo, assim indicados para o processamento de materiais friáveis. A Fig.(1) indica o princípio de operação de secadores de leito vibrado (BANZATTO, 2000).

A indústria alimentícia e farmacêutica utiliza diversos tipos de folhas desidratadas na confecção de seus produtos. Com relação à indústria ervateira, na produção de erva-mate para confecção de chimarrão, na secagem convencional das folhas são utilizados secadores rotativos.

No processamento de fumo, que consiste de folhas de alto valor econômico, são utilizados túneis horizontais de secagem, e as folhas são transportadas em uma correia transportadora perfurada, como mostrado na Fig.(2), (ONO e YOSHIDA, 1986).

Contudo os secadores de correia perfurada necessitam de mecanismo de retorno da correia. O equipamento é de custo expressivo e ainda requer manutenção em curtos intervalos de tempo.

Neste trabalho efetua-se o processamento de folhas de erva-mate em um secador de bandeja perfurada vibrada, o qual possibilita o deslocamento suave das folhas durante a secagem. O dispositivo é compacto, não necessita de mecanismo de retorno do suporte do leito e nem de manutenção excessiva. No estudo são determinados valores do

coeficiente de transferência de calor durante o sapeco e secagem de folhas de erva-mate. O sapeco consiste em uma etapa preliminar à secagem, no qual ocorre a inativação enzimática das folhas, evitando o escurecimento das mesmas (Souza, 1937).

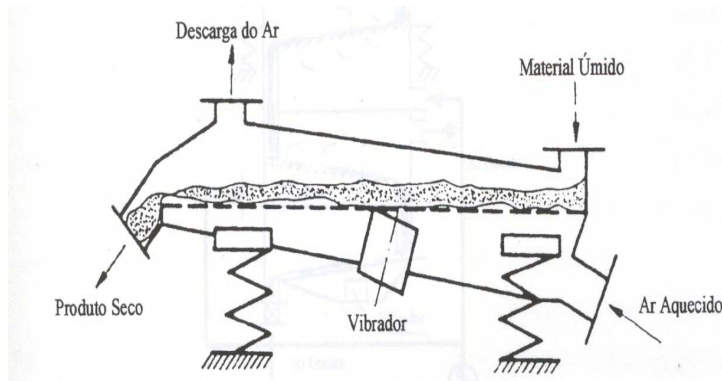


Figura 1. Princípio de operação de um secador de leito vibrado

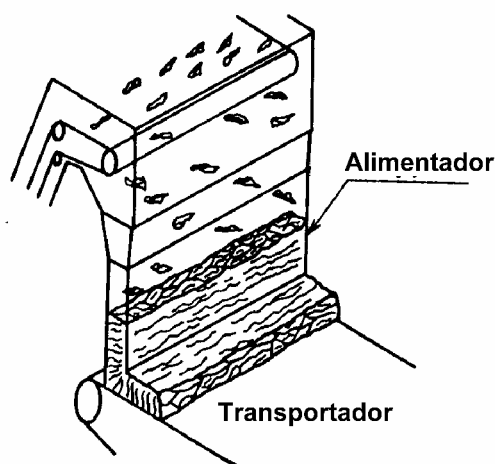


Figura 2. Esquema de parte de um secador de correia transportadora, aplicado à secagem de folhas de fumo.

2. Materiais e métodos

Neste trabalho efetuou-se a operação de sapeco utilizando um protótipo de sapecador constituído por um cilindro perfurado com diâmetro de 0,26 m e comprimento de 0,36 m, confeccionado com chapa de aço galvanizado com espessura de 0,0014 m. As folhas de erva-mate são colocadas no interior da câmara perfurada, e a operação realizada em batelada. A Fig.(3) consiste em uma vista do sapecador. As perfurações foram efetuadas com diâmetro de 0,011 m, existindo vinte filas de furos, contendo nove perfurações por fila, e o passo quadrado entre furos foi de 0,04 m. O cilindro foi atravessado por um eixo com diâmetro de 0,012 m, e em uma extremidade o mesmo avança em 0,04 m para fora, o qual consiste de apoio para fixação em uma câmara de combustão. Na outra extremidade do eixo, foi fixada uma manivela para efetuar a rotação manual do sapecador, servindo também de apoio na câmara de combustão. Em uma das extremidades do sapecador foi efetuada uma abertura circular, com diâmetro de 0,09 m, contendo, uma válvula manual para promover a carga e descarga de erva-mate. A câmara de combustão consiste em um suporte retangular, com largura de 0,33 m e comprimento de 0,42 m. O suprimento de calor foi efetuado na queima de gás liquefeito de petróleo em três bicos de Bunsen, distribuídos uniformemente abaixo do sapecador, distando o topo dos mesmos de 0,05 m do fundo do sapecador. A taxa mássica de gás liquefeito de petróleo (GLP), foi de $0,18 \cdot 10^{-3}$ kg/s.

O parâmetro de controle para quantificar a eficiência da operação de sapeco foi a cor final da folha, a qual deve ser próxima da natural da mesma, verde-oliva, e apresentando aspecto quebradiço, porém com alguma flexibilidade. Estas características desejadas para o produto do sapeco baseiam-se em observações no processamento industrial da erva-mate, tal como verificadas na Ervateira Barão (Barão de Cotegipe-RS) e na Ervateira Camol (Machadinho, RS), a qual deve apresentar o aroma característico de aceitabilidade do produto.

O secador de bandeja vibrada, utilizado neste trabalho, ver a Fig. (4), consiste em uma câmara horizontal com dimensões de 1,61m x 0,70m x 0,987m, provido de uma bandeja perfurada de aço inoxidável para suprimento de ar através do material que se desloca sobre a bandeja (ver Figura 4). Esta bandeja possui dimensões de 1,6m x 0,25m, com aberturas de 0,0015m de diâmetro, dispostas em arranjo triangular, com distância entre dois furos de 0,0022m e apresenta uma inclinação de 25° em relação à horizontal, para facilitar o escoamento do material. A bandeja é conectada

a uma estrutura suportada sobre molas e na qual são fixados dois vibradores elétricos de 0,33 hp, de massas desbalanceadas, dispostos simetricamente nas duas laterais da estrutura, porém inclinados de 45° em relação a horizontal. A condição de desbalanceamento proporciona a vibração da bandeja. A amplitude (A) e a frequência de vibração de operação (ω) foi de $0,5 \cdot 10^{-3}$ m e 183 rd/s. O adimensional $A\omega^2/g$ foi de 1,7, que representa o número de vezes que a força vibracional é superior à gravitacional. O ar de secagem é admitido por soprador de 2 hp disposto na extremidade esquerda da Fig.(4). No topo do ciclone, mostrado na Fig.(4), um exaustor de 1,5 hp, possui a função de efetuar o arraste de pequenas partículas e direcionar o ar de secagem para a tubulação de descarga. À direita, na parte central do corpo do secador existe uma janela de inspeção, a qual foi utilizada para retirada de amostras para quantificação da temperatura das folhas durante o processo de secagem. Através da janela de inspeção, inseria-se um calorímetro e no interior deste adicionavam-se folhas de erva-mate, para medir sua temperatura.

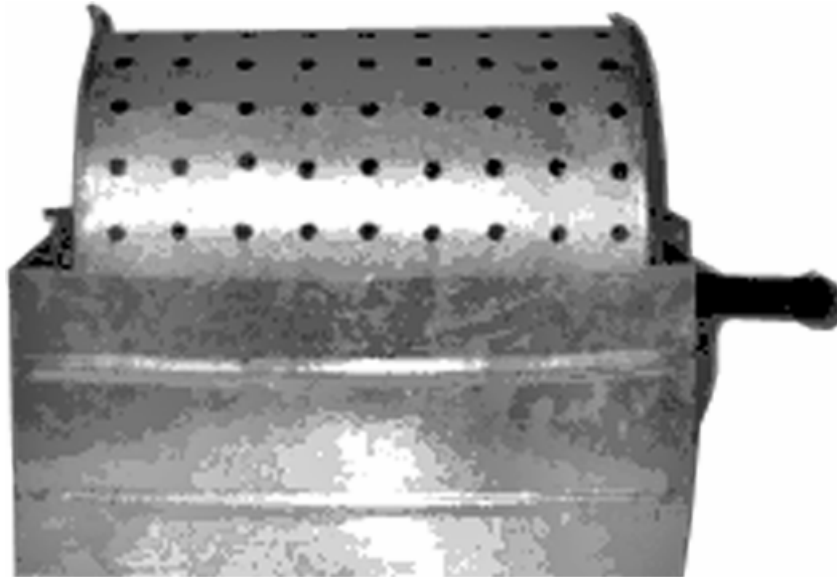


Figura 3. Vista do sapecador

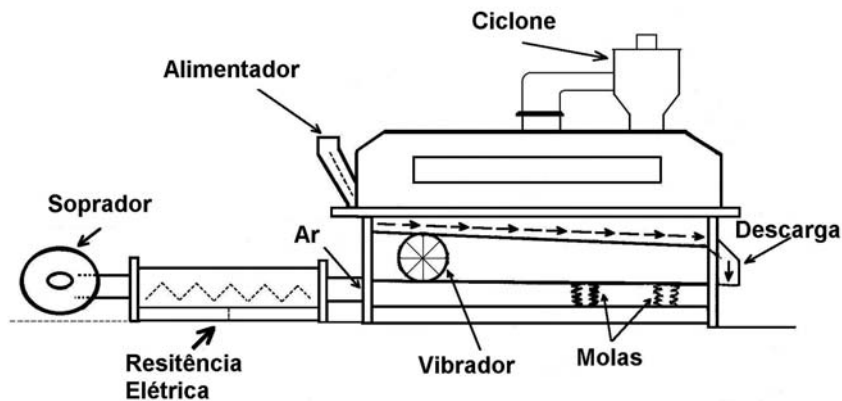


Figura 4 . Esquema do secador de bandeja vibrada

3. Transferência de calor

Durante o sapeco e a secagem, que consistem em dois tratamentos térmicos seqüenciais, as folhas de erva-mate perdem umidade. O calor recebido pelas folhas pode ser quantificado pela Eq.(1).

$$q = \left(\frac{S \cdot \lambda}{A} \right) \cdot \frac{dX}{dt} \quad (1)$$

onde: S é a massa de erva-mate desidratada; λ é o calor latente de vaporização da água; A é a área da superfície de troca de calor das folhas; dX/dt é a taxa de secagem.

Durante o processamento, o calor é fornecido: no sapeco, pela chama direta resultante da queima de gás liquefeito do petróleo (GLP) e na secagem pelo ar aquecido. A Equação (2), relaciona o calor admitido com o coeficiente convectivo de transferência de calor, h.

$$q = h(T_g - T_s) \tag{2}$$

onde: T_g é a temperatura do ar de secagem e T_s a temperatura da superfície das folhas de erva-mate.

Durante o processamento das folhas ocorre encolhimento do tecido celular das mesmas, a medida que ocorre a perda de umidade. Para quantificar o encolhimento das folhas, efetuou-se um experimento utilizando vinte folhas, retiradas aleatoriamente da árvore, sendo as mesmas adicionadas no interior de uma estufa mantida na temperatura de 60°C. Cada folha foi previamente marcada, para identificação da mesma durante o processamento.

Antes de adicionar as folhas na estufa, cada uma teve o contorno de sua superfície desenhada em folhas de papel sulfite com área de 624 cm² e massa de 4,8228 g por folha. Periodicamente, efetuou-se a retirada de folhas do interior da estufa repetindo-se o procedimento anterior. Cada folha teve, então, duas representações sobre a superfície de papel. As mesmas foram recortadas com uso de tesoura e as áreas das mesmas foram quantificadas por proporcionalidade entre as massas individuais das folhas com a folha de papel. Os resultados são mostrados na Fig.(5) e correlacionados pela Equação (3), utilizando o *software Statistica* com nível de confiança de 95%, assim como nas outras correlações deste trabalho; onde A é a área da superfície das folhas e A₀ o valor inicial. A umidade média inicial das folhas foi 55.01% (bu) e após a desidratação na estufa, a umidade da última amostra foi de 6,18% (bu). Analisando a curva da Fig.(5), verifica-se que ao atingirem o conteúdo de umidade de 6,18%, havia ocorrido a contração superficial de 14% nas faces das folhas. A área média de uma folha de erva-mate (duas faces) foi de 83 cm². A área específica média das folhas de erva-mate foi de 52,63 cm²/g.

$$\frac{A}{A_0} = 0,77 + 1,643 \cdot X - 5,419 \cdot X^2 + 8,54 \cdot X^3 - 6,39 \cdot X^4 + 1,812 \cdot X^5 \tag{3}$$

As espessuras das folhas foram quantificadas no início e no final da secagem em estufa e os resultados são mostrados na Fig.(6).

Analisando a curva que mostra a variação da espessura, verifica-se que a mesma variou de 0,44 mm para 0,25 mm, ocorrendo uma contração na espessura de 43%. Isto mostra que nas folhas de erva-mate, o encolhimento durante a secagem, ocorre com maior intensidade na direção normal às faces da folha. Isto ocorre, biologicamente, devido à fisiologia da folha, a qual possui organelas especializadas para a realização do metabolismo respiratório e de fotossíntese (Larcher,2000). Assim nestas superfícies ocorre a exudação preferencial de umidade, o que corresponde a uma resposta do tecido biológico sob ação de condições ambientais adversas. A relação de encolhimento percentual global, entre a espessura e as faces foi de R = 43/14, onde R= 3, o que mostra que a contração percentual da espessura das folhas é três vezes maior do que a contração das faces.

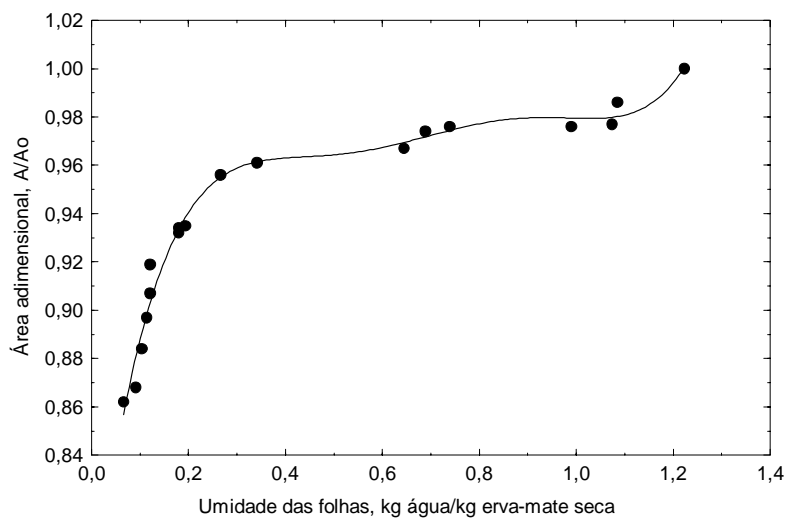


Figura 5 - Relação adimensional de áreas

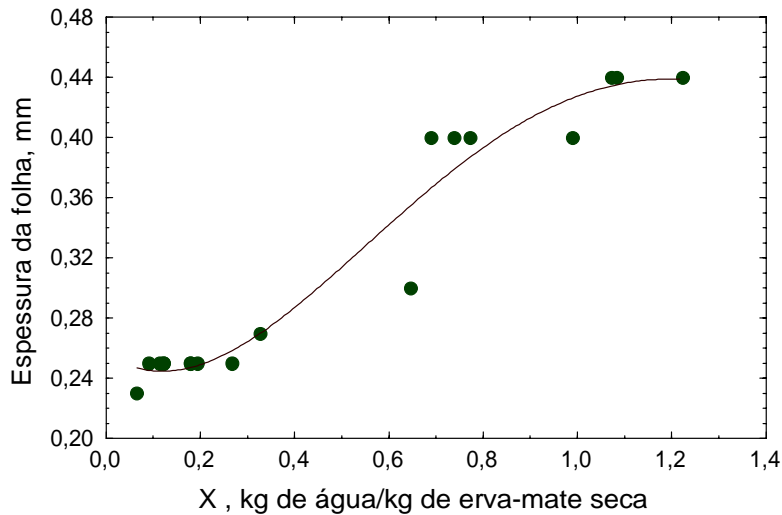


Figura 6. Variação da espessura das folhas de erva-mate com o conteúdo de umidade.

3.1. Operação de sapeco

Efetuar-se-ensaios de sapeco de erva-mate, utilizando-se em torno de 100 g de erva em cada ensaio, operando à rotação de 80 rpm. A umidade média das folhas de erva-mate processadas foi de 61,9% (bu). Em cada ensaio se utilizou nova amostra de erva-mate, variando-se o tempo de sapecamento de 0,5 a 5 minutos. Foram retiradas três folhas de erva-mate, em cada ensaio, para quantificar a perda de umidade no sapeco. Após cada operação de sapeco, amostras foram colocadas em estufa à temperatura 105°C até massa constante. Os resultados são mostrados na Fig. (6), e a Eq. (4) consiste no resultado de um ajuste polinomial. Detalhes técnicos do sapeco, utilizando a metodologia indicada, podem ser obtidos em VALDUGA et al (2001). O sapeco exerce importância fundamental na qualidade do produto, no qual ocorre abertura dos estômatos ou vasos aquosos das folhas, rompendo-se por dilatação sob ação do calor (EMBRAPA, 1975). Relativo à Fig.(6), verifica-se que durante o primeiro minuto de sapeco, ocorre aumento da taxa de sapeco (que consiste no coeficiente angular da curva). A taxa máxima ocorre até o terceiro minuto de sapeco. Após o quarto minuto de operação o coeficiente angular gradativamente vai diminuindo.

$$X = 1,624 - 0,124 \cdot t - 0,149 \cdot t^2 - 0,025 \cdot t^3 + 0,02 \cdot t^4 - 0,002 \cdot t^5 \quad (4)$$

A massa global de 500 folhas (642,832 g), foi previamente determinada e obtida a massa média de uma folha, igual a 1,286 g. Assim em cada batelada de sapeco foram adicionadas, em média, 77 folhas dentro do sapecador.

Diversos experimentos de sapeco, por 4 minutos, com as condições operacionais citadas, possibilitaram a obtenção de folhas sapecadas. Estas condições operacionais possibilitam a obtenção de erva-mate com características de cor e homogeneidade de alto padrão, quando comparado com produtos industriais (VALDUGA et al, 2001). As folhas sapecadas foram numeradas de 1 até 500, (com a finalidade de identificá-las na operação de secagem) quantificadas as massas individuais para utilização das mesmas na secagem em bandeja vibrada, o que é relatado na seção de secagem. A massa total das folhas sapecadas foi de 286,854 g, sendo a média por folhas de 0,574 g.

Calculando-se a umidade média residual das 500 folhas, após o sapeco, obtém-se 14,6% (bu). Comparando com o valor da umidade da erva-mate após 4 minutos de sapeco, ver a Fig.(6), a qual situa-se em torno de 10%, pode-se indicar que a diferença se deve à heterogeneidade da matéria prima, relacionada com a amostragem. Portanto, com referência aos experimentos realizados, nas condições operacionais utilizadas, obter-se-á erva-mate sapecada com teores de umidade no intervalo de 10 a 14% (bu). Para se obter o conteúdo de umidade desejado para comercialização, menor do que 5%, deve-se efetuar a secagem da erva-mate posterior ao sapeco.

Para quantificar a temperatura das folhas durante o sapeco, efetuaram-se ensaios utilizando 100 gramas de erva-mate em cada um, o que corresponde em média a 78 folhas. Selecionou-se um tempo total de sapeco de 4 minutos, o qual consistiu das melhores condições visuais que produziam uma erva-mate sapecada com coloração verde-oliva e homogênea, sem ocorrência de chamuscamento de folhas (o que acontece nas bordas de algumas folhas ao operar com um tempo total de sapeco de 5 minutos), tendo sido a técnica desenvolvida por VALDUGA et al (2001).

Em cada experimento, em um instante pré-estabelecido foram retiradas amostras de folhas de erva-mate e colocadas em um calorímetro confeccionado em isopor de geometria cúbica com aresta de 0,15 m, existindo um termopar de Cobre-constantan (com resolução de 0,1°C) inserido em uma lateral, distando 0,05 m da base inferior. Os resultados são mostrados na Figura 7 e são representados pela Equação (5). A temperatura das folhas varia de 25°C, no início do processo, até 90°C, para um tempo de 4 minutos.

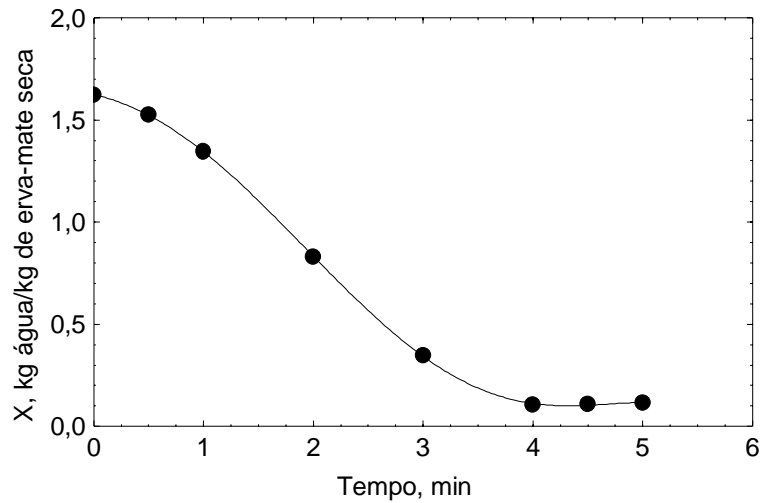


Figura 6. Curva de sapeco

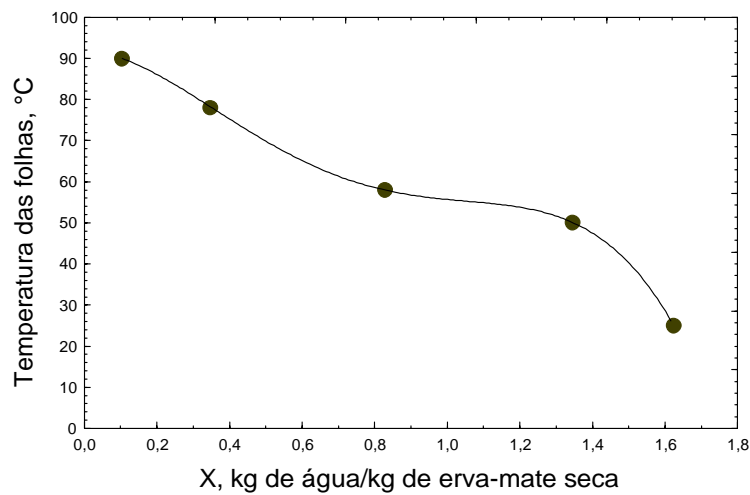


Figura 7. Temperatura das folhas de erva-mate no sapeco.

$$T = 91,9995 - 4,261 \cdot X - 163,867 \cdot X^2 + 203,867 \cdot X^3 - 72,031 \cdot X^4 \quad (5)$$

Da igualdade das Eq.(1) e (2), obtém-se a Eq.(6), para determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor.

$$h = \frac{S \cdot \lambda}{A} \cdot \frac{(-dX/dt)}{(T_g - T_s)} \quad (6)$$

onde: S é a massa de folhas desidratadas de erva-mate, λ é a entalpia de vaporização da água na temperatura da superfície da folha; $(-dX/dt)$ é a taxa de secagem; A é a área da superfície de transferência de calor; T_g é a temperatura dos gases de sapeco (na seção de secagem, a seguir, é a temperatura do ar de secagem) e T_s é a temperatura da superfície das folhas.

Ensaio utilizando o sapecador mostraram que durante o processamento a temperatura interna do topo da câmara foi de 120 °C, medida com um termopar de cobre-constantan. A temperatura no fundo do sapecador de 242°C foi quantificada com utilização de um medidor laser de temperatura (Raytek-Ranger ST), direcionando o raio laser sobre uma área oxidada. Para determinar o coeficiente de transferência de calor, a temperatura dos gases de combustão, 181°C, foi avaliada como sendo a média aritmética das temperaturas indicadas.

Utilizando as Equações (3), (4), (5) e (6), foram obtidos os dados indicados na Tabela 1. O calor latente de vaporização da água foi obtido em ASHRAE, 1985.

Tabela 1. Parâmetros e valores do coeficiente convectivo de transferência de calor.

T min	X Kg/kg	T _s °C	S.10 ³ kg	λ kJ/kg	A/A _o	A.10 ⁴ m ²	-dX/dt	h KJ/ m ² min°C
0	1,624	25,0	38,1	2442	1,00	5,263	0,533	0,603
1	1,345	50,0	38,1	2382	1,00	5,263	0,499	0,657
2	0,827	58,0	38,1	2363	0,97	5,105	0,381	0,544
3	0,348	78,2	38,1	2312	0,96	5,052	0,234	0,394
4	0,104	90,0	38,1	2282	0,89	4,684	0,155	0,316

Estes resultados mostram que o coeficiente convectivo de transferência de calor, praticamente, se mantém constante durante a etapa inicial de realização do sapeco de folhas de erva-mate. Devido à espessura delgada das folhas e à temperatura de sapeco, ser relativamente alta, houve uma intensa eliminação de umidade das folhas, acompanhada de pouco encolhimento superficial.

3.2 Operação de secagem em secador de bandeja vibrada

A erva-mate processada no sapecador, proveniente de várias bateladas, cada uma por 4 minutos, segundo as condições operacionais citadas anteriormente, foram utilizadas para processamento no secador de bandeja vibrada.

O material que foi sapecado, 500 folhas, foi utilizado para realização da secagem, sendo a massa global de 286,854 gramas. Assim a massa média de uma folha é de 0,573708 gramas e a umidade média de 14,6% ($X = 0,171$ kg/kg erva-mate seca). Utilizando a Equação (3), determinou-se o adimensional $A/A_0 = 0,93$. A área da superfície das 500 folhas in natura foram de: (52,63 cm²/g).642,832 gramas, obtendo-se a área 33.832 cm² (3,3832 m²). Utilizando este parâmetro na relação acima, calcula-se a área das folhas sapecadas no início da operação de secagem, igual a $0,93 \times 3,3832$, correspondendo a 3,1464 m².

Na secagem das folhas de erva-mate, as folhas previamente sapecadas foram alimentadas no distribuidor do secador de bandeja vibrada (ver a Figura 4).

Durante o processamento efetuou-se o reciclo de folhas de erva-mate para o distribuidor da alimentação (ver a Figura 4). O critério de reciclo utilizado foi o seguinte. Quando a metade da massa foliar havia abandonado a descarga do secador, procedia-se a realimentação das mesmas. Após 1,08 min, a primeira folha de erva-mate foi descarregada do secador. Após 10,72 min, a metade das folhas tinha sido descarregada. Assim o tempo médio de permanência das mesmas na câmara de secagem foi de $(1,08 + 10,72)/2 = 5,9$ min. Este material antes de ser reciclado teve a temperatura quantificada com utilização do calorímetro utilizado no sapeco e a massa individual das folhas determinadas, para quantificação do conteúdo médio de umidade. Isto foi possível pelo fato das folhas estarem previamente identificadas por números e estando as massas das mesmas quantificadas. O tempo decorrido para que a segunda metade das folhas abandonasse o secador foi de 15 minutos. Assim o tempo médio de secagem desta segunda metade de folhas foi de : $10,72 + 10,72/2 = 13$ min. O tempo médio de secagem das folhas, para, um ciclo completo, foi avaliado pela média aritmética das duas metades, ou seja: $(5,9 + 13)/2 = 9,4$ min. O mesmo procedimento foi utilizado em um segundo ciclo de secagem. Os resultados são mostrados na Figura 8 e 9, que se referem à secagem para a erva-mate anteriormente submetida a 4 minutos de sapeco. A umidade final das folhas, após 13 minutos de secagem em leito vibrado foi $X = 0,045$ (4,3% bu). A equação da curva de secagem é expressa pela Equação (7) e a equação da temperatura das folhas de erva-mate pela Equação (8). Na Figura 9, observa-se que a temperatura das folhas foi aumentando, gradativamente, com a diminuição do conteúdo de umidade dos sólidos.

$$X = 0,187 \cdot \exp(-0,09 \cdot t) \quad (7)$$

$$T = 54,267 + 473,157 \cdot X - 15114,99 \cdot X^2 + 148200 \cdot X^3 - 478300 \cdot X^4 \quad (8)$$

Utilizando as Equações (3), (6), (7), (8), foram obtidos os dados indicados na Tabela 2. Estes resultados mostram que o coeficiente convectivo de transferência de calor, relativo à secagem das folhas em leito vibrado, é cerca de cinco vezes menor do que o coeficiente convectivo de transferência de calor na operação de sapeco.

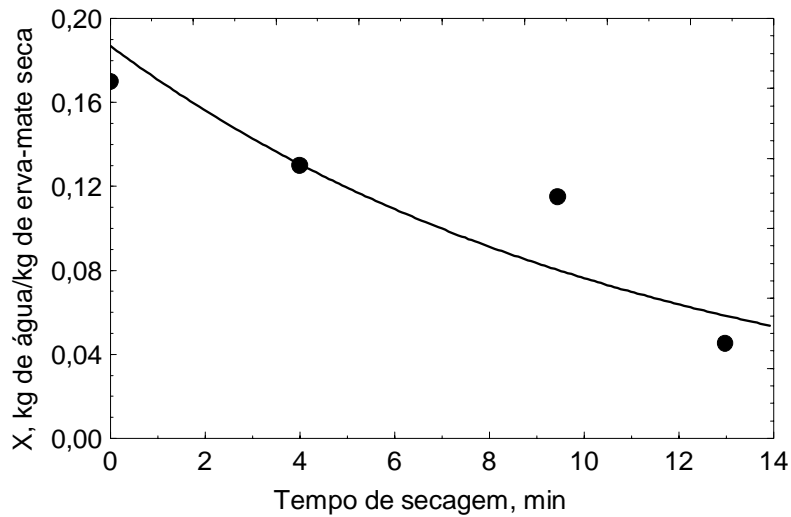


Figura 8. Curva de secagem de folhas de erva-mate (previamente submetidas a sapeco).

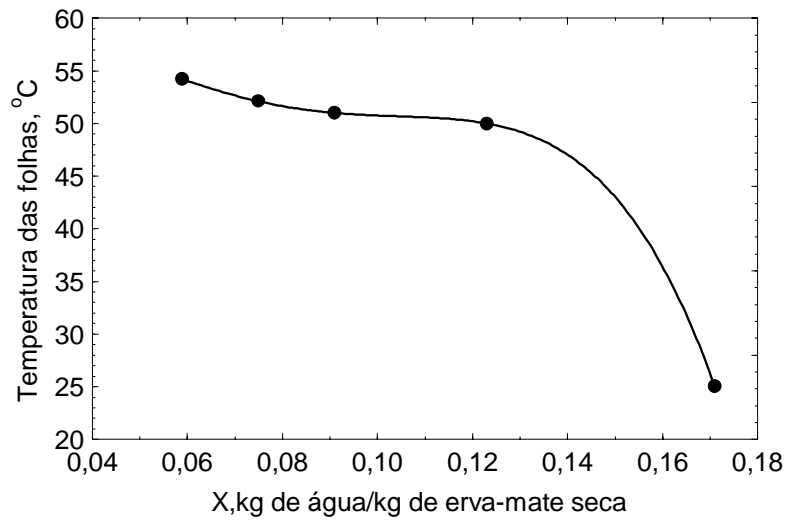


Figura 9. Temperatura das folhas de erva-mate na secagem em leito vibrado

Tabela 2. Parâmetros e valores do coeficiente convectivo de transferência de calor.

T min	X Kg/kg	T _s °c	S.10 kg	λ kJ/kg	A/A _o	A m ²	-dx/dt x10 ² min ⁻¹	h.10 ² KJ/ m ² min°C
0	0,171	25	2,45	2442	0,93	3,146	1,68	7,72
2	0,156	39	2,45	2411	0,92	3,126	1,41	9,72
4	0,130	48	2,45	2389	0,91	3,092	1,17	12,04
6	0,109	50	2,45	2384	0,90	3,058	0,981	11,42
8	0,091	51	2,45	2380	0,88	3,014	0,819	10,29
10	0,076	52	2,45	2380	0,87	2,967	0,684	9,33
12	0,064	53	2,45	2375	0,86	2,906	0,571	8,53
13	0,058	54	2,45	2372	0,85	2,876	0,522	8,51

4. Conclusões

A contração superficial das folhas de erva-mate, ao ocorrer a variação de umidade de 55,0% (bu) para 6,2% (bu), foi de 14% nas faces das folhas. O encolhimento normal a superfície das folhas foi de 43,0%. Assim, durante a eliminação de água, o encolhimento ocorre com maior intensidade, na direção normal às faces das folhas (ou seja na espessura), sendo de 3,0 vezes maior que a contração das faces. A área da superfície das folhas de erva-mate “in natura” é de 52,63 cm²/g. Os coeficientes convectivos de transferência de calor são de, aproximadamente, 0,316 a 0,606 kJ/m².min.°C e 0,097 kJ/m².min.°C, para a operação de sapeco e de secagem em leito vibrado, respectivamente, para as condições de operação ensaiadas.

5. Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte do CNPq (*Conselho Nacional de Pesquisa*), Processo: 472200/200-1.

6. Referências

- ASHRAE.,1985, “Psychrometrics”. In: ASHRAE Handbook–Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, pp. 6.1- 6.16.
- Banzatto, L. L., 2000, “Secador de bandejas vibradas: controle do escoamento dos sólidos e regeneração do potencial do ar de secagem”. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia. 90p. Uberlândia, Brazil, 90p.
- Borde, I., Dukhovny, M., Elperin, T., Katz, V., 1996, “Investigation of drying in a multistage dryer with a vibrofluidized bed” Proceedings of the International Drying Symposium (IDS’96), Kraków, Poland, pp. 409-415.
- Embrapa, 1975, “Erva-Mate, Origem, Cultura e Industrialização” Departamento de Industrialização e Comercialização. URPFCs, Brazil, 25p.
- Larcher, W., 2000, “Ecofisiologia vegetal”, Rima Artes e Textos, São Carlos, Brazil, 531p.
- Ono, T., Yoshida, T.,1985, “Designing of dryer in tobacco manufacturing process”. In: Drying 86. Hemisphere Publishing Corporation. vol. 2. Washington, USA, pp. 630-636.
- Souza, T.L., 1937, “Tecnologia de Erva-Mate”. Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio. Boletim nº 56, Julho, Porto Alegre, Brasil, 18p.
- Valduga, A. T.; Battestin, V.; Krüger, R. L.; Benincá, C.; Finzer, J. R. D., 2001, “Techniques and solid-liquid equilibrium in the maté processing” Science&Engineering Journal. Vol.10, No. 2, pp. 69-78.

DRYER OF VIBRATED TRAY: HEAT TRANSFER IN THE DRYING OF MATÉ

Alice Teresa Valduga

Integrated Regional University - Campus of Erechim
Federal University of São Carlos-SP - Program of Ecology and Natural Resources.
Av. Sete de Setembro 1621 – P.O. Box 743. 99700-000 Erechim – RS, Brazil
valice@uri.com.br

José Roberto Delalibera Finzer

Federal University of Uberlândia, Chemical Engineering Faculty; Integrated Regional University - Campus of Erechim
Federal University of São Carlos-SP - Program of Ecology and Natural Resources.
P.O Box 593. 38400-902 Uberlândia –MG, Brazil
jrdfinzer@ufu.br

Everton Fernando Zanoelo

Integrated Regional University - Campus of Erechim
Av. Sete de Setembro 1621 – P.O. Box 743. 99700-000 Erechim – RS, Brazil
everton.zanoelo@uri.com.br

Roberta Letícia Krüger

Integrated Regional University - Campus of Erechim
Av. Sete de Setembro 1621 – P.O. Box 743. 99700-000 Erechim – RS, Brazil

Abstract. *In this work, was carried out the processing of maté leaves, whose initial humidity is of 61,9% (wet base). The processing consisted of two stages, the thermal inactivation of enzymes, denominated singeing, being followed the drying of the leaves in dryer of vibrated tray. Maté leaves are put inside the singeing equipment, being the same disposed on direct fire and submitted to the rotation of 80 rpm. The final humidity of the maté leaves, after the inactivation is of 10-14% (wb). The drying of the leaves, previously singed, is carried out in the dryer of vibrated tray. The vibration of the tray, supported by springs, it is made by two electric vibrators of 0,33 hp, of unbalanced masses. The amplitude and vibration frequency were: 0,5 mm and 183 rd/s, what implicates in the dimensionless $A\omega^2/g = 1,7$. The final humidity of the maté leaves, after drying in the vibrated tray dryer, with the flow air drying in the temperature of 64°C, was inferior to 5% (bu). The heat transfer coefficients between the combustion gases-*

leaves (in the enzymatic inactivation) and the drying air-leaves (in the vibrated tray drying) were calculated through the experimental data obtained in this study.

Keywords: *maté processing, singeing, drying in vibrated bed, coefficients of heat transfer.*