

# RESFRIAMENTO DE BANANA-PRATA COM AR FORÇADO<sup>1</sup>

BÁRBARA TERUEL<sup>2</sup>; LUÍS CORTEZ<sup>3</sup>; PAULO LEAL<sup>3</sup>, LINCOLN NEVES FILHO<sup>4</sup>

**RESUMO** - Este trabalho apresenta as curvas de resfriamento de banana-prata (*Musa balbisiana* Colla) e os valores do tempo de meio e sete oitavos de resfriamento, partindo do cálculo da Taxa Adimensional de Temperatura. Os frutos foram resfriados num sistema com ar forçado a 7°C, umidade relativa de 87,6±3,8%, e velocidade do ar entre 1 e 0,2 m/s. Aplicou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, usando um esquema fatorial 2x2 (dois fluxos de ar (fatores) e duas embalagens (níveis)), para um nível de significância de 10%. Os fluxos de ar foram 1.933 a 1.160 m<sup>3</sup>/h, e as embalagens se diferenciaram pela porcentagem de área de abertura disponível para a ventilação (40 e 3,2%). Foi constatada uma diferença significativa no tempo de resfriamento, tanto quando aplicadas as duas taxas de ar como quando usadas as duas embalagens. O menor tempo de resfriamento foi atingido no tratamento que combinou a maior taxa de ar (1.933 m<sup>3</sup>/h) com a embalagem de maior área de aberturas (40%). O maior tempo de resfriamento foi atingido no tratamento que combinou a menor taxa de ar (1160 m<sup>3</sup>/h) com a embalagem de 3,2% de área efetiva de abertura. Os resultados obtidos demonstram que o tempo de resfriamento depende, em grande medida, da taxa de ar e do tipo de embalagem usada. O tempo de resfriamento variou em média entre 117 a 555 min, dependendo do tratamento aplicado. Não se constatou diferença significativa nas perdas de massa entre os diferentes tratamentos.

**Termos para indexação:** *Musa balbisiana* Colla, tempo de resfriamento, taxa de ar, perdas de massa.

## FORCED-AIR COOLING OF BANANA

**ABSTRACT**- This work presents the cooling curves for bananas Prata, (*Musa balbisiana* Colla), and determinates half-cooling and seven-eight cooling times and the cooling rate. Bananas were kept in a cold room with a forced-air system at 7°C and RH = 87.6±3.8%. The experiment was conducted in a 2x2 factorial design, to test the effects of two flow rates (factors) of air passing through the product, and two types of boxes (levels). The statistical analysis was performed at p<0.10. The air flow rates were 1933 and 1160 m<sup>3</sup>/h and the boxes differed from each other by the area of openings, allowing more or less contact of the cooling media with the product (boxes with 40% or 3,5% of opening area). Significant differences were observed between cooling times of the product. The shortest cooling time was reached when the product was packed in a box with 40% of opening area and with the largest air flow rate of 1933 m<sup>3</sup>/h. The longest cooling time was obtained using a box with 3,2% of opening area and with the smallest air flow of 1160 m<sup>3</sup>/h. The results demonstrated the influence of the package opening area and the air flow on the cooling rate of bananas. The average time cooling was 117 min at 555 min in the different treatments. There is no statistical difference on weight loss.

**Index terms:** *Musa balbisiana* Colla, cooling time, air flow rate, weight loss

## INTRODUÇÃO

A banana constitui-se em uma fonte importante na alimentação do homem pelo valor calorífico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e de vitaminas que apresenta, sendo uma das frutas mais produzidas e consumidas no Brasil. Espera-se que, nos próximos anos, no País, a demanda de banana cresça em quase 40% (IBRAF, 1999).

No manuseio da banana, atingem-se valores significativos de perdas quantitativas e qualitativas, nas diferentes etapas, que vão desde o processo de colheita e armazenamento, até a distribuição e venda. Entre as várias causas que originam estas perdas, estão a não-utilização de armazenamento refrigerado após a colheita (IBRAF, 1999).

Especial cuidado deve ser tomado na conservação das bananas, por serem classificadas como climatéricas, além de serem muito sensíveis aos efeitos da temperatura. Por esta razão, o valor de perdas pode ser alto, se elas não forem submetidas a um

adequado tratamento após a colheita (Kader, 1992).

Após a colheita, o resfriamento rápido, ou pré-resfriamento, deve ser o primeiro passo a ser dado para a conservação de frutas *in natura*. Um atraso entre a colheita e o resfriamento provoca automaticamente uma deterioração prematura do produto e traz consigo a perda de qualidade dos mesmos (Kader, 1992; ASHRAE, 1994).

Para realizar o resfriamento rápido, os sistemas com ar forçado destacam-se, por serem eficientes e de fácil operação. Estes sistemas estão compostos por ventiladores, associados ao sistema de refrigeração numa câmara de resfriamento. Diversos são os fatores que têm influência sobre a eficiência do resfriamento nestes sistemas, destacando-se, entre eles: o tipo de embalagem, a taxa e velocidade do ar de resfriamento e a altura do leito de frutos dispostos no interior da embalagem (Arifin & Chau, 1988; Fraser, 1992).

Na literatura, há indicações de que a taxa de ar deve estar entre 4 e 20 m<sup>3</sup>/h por kg de produto a ser resfriado (1 a 6 l/s por kg

<sup>1</sup> (Trabalho 014/2001), Recebido: 11/01/2001. Aceito para publicação: 22/02/2002.

<sup>2</sup> UNICAMP - FEM, Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos, C. Postal. 6122, 13081-970. Campinas. SP.

<sup>3</sup> UNICAMP - FEAGRI, Depto de Construções Rurais, C. Postal 6011;

<sup>4</sup> UNICAMP-FEA, Depto de Engenharia dos Alimentos, C. Postal 6121.

de produto) (Arifin & Chau, 1987; Baird *et al.*, 1985; Fraser, 1992). Por outro lado, recomenda-se o uso de embalagens que apresentem no mínimo uma área de abertura de 5 a 10%, no sentido da entrada do fluxo de ar (Baird *et al.*, 1988; Talbot & Chau, 1991).

Para quantificar a eficiência do processo de resfriamento, tanto em termos de tempo como de temperatura, são empregados parâmetros como: tempo de meio resfriamento (*half-cooling time*), e o tempo dos sete oitavos do resfriamento (*seven-eighths cooling time*). Estes parâmetros estão relacionados com o tempo necessário para resfriar comercialmente os produtos, e pode ser expresso em horas ou minutos (ASHRAE, 1994).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um estudo para determinar o tempo de resfriamento de bananas submetidas ao resfriamento rápido com ar forçado, usando diferentes tipos de embalagens e taxas de ar, assim como determinar o valor das perdas de massa após o resfriamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Montagem experimental

Para o resfriamento das bananas, foi montado um sistema de ar forçado no interior de uma câmara de refrigeração. Os elementos que compõem o sistema estão apresentados na Figura 1. No interior da câmara de resfriamento (A), foi instalado um ventilador centrífugo (2), com uma polia escalonada que permitia o trabalho do ventilador em duas posições, garantindo dois fluxos de ar diferentes: 1.933 e 1.160 m<sup>3</sup>/h. O ventilador suciona o ar refrigerado que sai do evaporador (1) e o ar resfriado é forçado a passar transversalmente entre o volume de 12 caixas de frutos, colocadas no túnel de resfriamento (3), o qual está fechado na parte superior e frontal com uma lona (Fig. 1a). Para o monitoramento da temperatura, foi utilizado um sistema de aquisição de dados por computador, o qual consta de um conversor de sinais A/D, uma placa de condicionamento de sinais e um computador AT 486 (5). A temperatura do ar resfriado e insuflado pelo evaporador foi medida e monitorada, usando para este fim um termopar colocado no interior da câmara de resfriamento.

No centro das bananas, foram inseridos termopares tipo T, #24, de Cobre-Constantan, os quais foram calibrados previamente ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ) (Teruel *et al.*, 1999). Os termopares foram colocados em duas bananas, nas duas pencas, coincidindo com o meio da caixa. O ponto 1 coincidia com o fruto em maior contato com o fluxo de ar, e o ponto 2 aquele que se encontrava mais afastado da entrada do fluxo de ar, como mostrado na Figura 1b. As bananas sempre foram colhidas ao final da tarde anterior, da instalação do experimento, e transportadas nas primeiras horas da manhã até a UNICAMP. As bananas foram selecionadas por tamanho e grau de maturação, pelos produtores, antes de serem acondicionadas nas embalagens. As caixas continham entre 6 e 7 pencas de banana, cada uma com 6 a 10 frutos, fazendo, aproximadamente, uma quantidade total de 20 kg por caixa.

Foram utilizados dois tipos de embalagens: caixas plásticas e caixas de papelão, as quais denominaremos com as siglas EI e EII, respectivamente. As caixas plásticas (EI) são usadas geralmente para o transporte dos produtos desde o campo até o galpão de embalagem, tem aproximadamente 60% de área de abertura, estando disponível para a passagem do ar resfriado

aproximadamente 40% (Figura 2a). Já as caixas de papelão (EII) são comumente usadas para comercialização de frutas, com um área de abertura de 7%, sendo de área efetiva aproximadamente 3,2% (Figura 2b).

As taxas de ar aplicadas aos produtos foram de 1.933 e 1.160 m<sup>3</sup>/h (1,5 e 3 l/s x kg de produto resfriado). Os dois fluxos de ar foram denominados com as letras FA e FC, respectivamente. Sendo assim, os tratamentos foram denominados como: 1)- FAEI (fluxo de 1.933 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 40% de área efetiva); 2)- FAEII (fluxo de 1.933 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 3,2% de área efetiva); 3)- FCEI (fluxo de 1.160 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 40% de área efetiva) e 4)- FCEII (fluxo de 1.160 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 3,2% de área efetiva).

A velocidade do fluxo do ar no interior do túnel de ar forçado foi determinada com um termoanemômetro digital de fio quente, TRI-SENSE, com escala de velocidade de 0,5 a 25 m/s, e uma escala de temperatura de  $-30^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  ( $\pm 1,5^\circ\text{C}$ ). Para os dois regimes de operação do ventilador, ou seja, para os dois fluxos de ar, a velocidade média do ar foi de  $1,02 \pm 0,15$  m/s e  $0,19 \pm 0,03$  m/s, respectivamente.

Para a coleta dos dados experimentais, foi aplicado um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (2 fatores e 2 níveis), para testar os efeitos dos fluxos (fatores) e das duas embalagens (níveis). Para cada um dos tratamentos, foram feitas duas repetições. Foi aplicada a análise de variância e o teste F, para um nível de significância de 90% (Montgomery, 1992).

### Determinação do tempo de resfriamento

Para a determinação do tempo de resfriamento, foram usados os dados experimentais de temperatura lidos no centro das frutas ( $T=T_c$ ), para cada ponto em que foi monitorada a temperatura, e calculada a Taxa Adimensional de Temperatura (TAT). No instante em que TAT fosse igual a 0,5, o produto teria atingido o tempo de meio resfriamento, que é o tempo necessário para reduzir pela metade a diferença entre a temperatura inicial do produto e a temperatura do meio de resfriamento (Equação 1):

$$TAT_{1/2} = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} = 0,5 \quad (1)$$

onde  $T_c$  é a temperatura no centro do fruto,  $T_i$  é a temperatura inicial do fruto e  $T_a$  é a temperatura do ar de resfriamento. Quando a TAT for igual a 0,125, os frutos terão atingido o tempo dos sete oitavos do resfriamento, ou seja, o tempo necessário para reduzir a  $1/8$  a diferença entre a temperatura inicial do produto e a temperatura do meio de resfriamento (Equação 2):

$$TAT_{7/8} = \frac{T_c - T_a}{T_i - T_a} = 0,125 \quad (2)$$

O sistema foi programado para trabalhar a uma temperatura de  $7^\circ\text{C}$  ( $T_a$ ), para garantir um resfriamento rápido dos frutos. A temperatura média dos frutos no início dos experimentos ( $T_i$ ) foi de  $27,6 \pm 0,3^\circ\text{C}$ .

Para as condições experimentais, o tempo de meio resfriamento seria atingido quando a temperatura  $T_c$  fosse de aproximadamente  $17^\circ\text{C}$  ( $TAT_{1/2}$ ). Quando  $T_c$  fosse de  $9^\circ\text{C}$ , teria sido atingido o tempo dos sete oitavos do resfriamento ( $TAT_{7/8}$ ).

O sistema de aquisição de dados foi programado para monitorar as leituras de temperatura com uma frequência de 0,01

Hz, durante 400 min. Os dados experimentais foram processados com auxílio de uma planilha do Microsoft Excel.

### Determinação da massa

Depois da chegada dos frutos ao laboratório, foi feita uma seleção aleatória de uma caixa de bananas, da qual foram pesadas todas as pencas. Para a determinação da massa, foi usada uma balança digital (Marca Filizola Modelo BP15, 110/220 v, 60 Hz). As amostras foram numeradas, etiquetadas e pesadas antes do resfriamento. Depois do resfriamento rápido, esta mesma caixa era retirada da câmara e, novamente, eram pesadas as amostras. Com o valor da massa antes ( $M_i$ ) e depois do resfriamento ( $M_f$ ), foram determinadas as perdas de massa (Equação 3).

$$Mp = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tempo de resfriamento

Os resultados obtidos em todos os tratamentos para o ponto 1 (Figura 3) salientam a tendência observada em todos os demais experimentos (dados não apresentados). Na Tabela 1, são apresentados os valores do tempo de resfriamento para cada tratamento aplicado.

Quando a embalagem apresenta menor área para a passagem do ar, o tempo de resfriamento pode ser até 45% maior que quando usada a embalagem EI: uma diferença no tempo de resfriamento, entre o ponto 1 e o ponto 2, na ordem de 30% a 40%, em todos os tratamentos. Valores do tempo de resfriamento em torno de 25 min ( $TAT_{7/8}$ ) foram obtidos por Ansari & Afraq

(1986), durante o resfriamento de pepino, num sistema de ar forçado com velocidade de 6 m/s ( $T_a = 5^\circ\text{C}$ ;  $T_i = 30^\circ\text{C}$ ).

Comprovou-se experimentalmente que entre o ponto 1 e o 2 existe um diferencial de temperatura da ordem de 2 a  $5^\circ\text{C}$ , o que se reflete no tempo de resfriamento, que é maior no ponto 2 que no ponto 1 (Tabela 1). Este resultado demonstra que a influência da posição dos frutos no leito é muito importante para se obter eficiência no resfriamento. O maior contato dos frutos com o ar resfriado se traduz em maiores taxas de transferência de calor.

A taxa de ar, que está diretamente relacionada com a velocidade do fluxo de ar, e o tipo de embalagem mostraram exercer uma influência significativa no tempo de resfriamento, ao nível estatístico adotado (10%). O aumento do tempo de resfriamento atingiu valores até 60% maiores, em função do decréscimo da taxa de ar e a área efetiva das embalagens.

### Perdas de massa

A perda média de massa dos frutos, entre todos os tratamentos após o resfriamento, foi de 0,035 g; 2,51% por penca e 0,42% por fruto, aproximadamente (Tabela 2). Mesmo assim, a análise de variância demonstrou que as perdas de massa entre os diferentes tratamentos não foram significativas, para um intervalo de confiança de 90%.

Comprovou-se então que, quando os frutos são submetidos a um resfriamento rápido, em sistemas com ar forçado, as perdas de massa podem ser consideradas desprezíveis, não afetando a qualidade dos frutos. Em trabalhos desenvolvidos por Chau *et al.* (1985) e Novy & Kieckbush (1986), os autores comprovaram que as perdas de massa, em laranjas resfriadas num sistema com ar forçado, foram da ordem de 1%. Dados sobre perdas de massa de banana *in natura* não foram encontrados na literatura. Na Figura 4, mostra-se o comportamento das perdas de massa em todos os tratamentos aplicados.

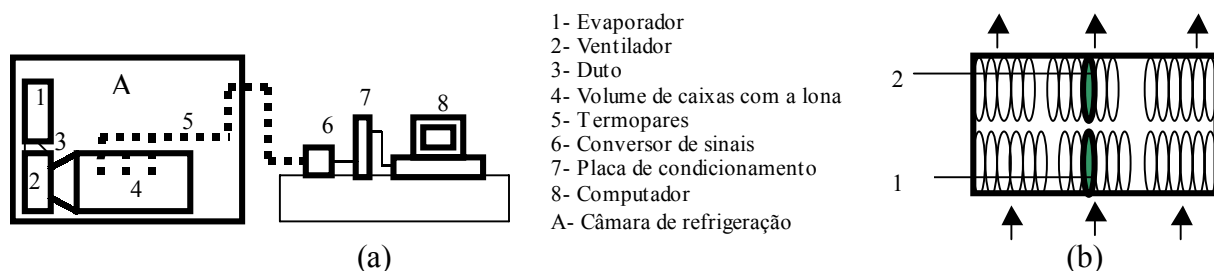


FIGURA 1 - (a). Elementos que compõem o sistema de resfriamento e a bancada de experimentos. (b). Pontos em que foi medida a temperatura dos frutos. Campinas - UNICAMP, 2000.

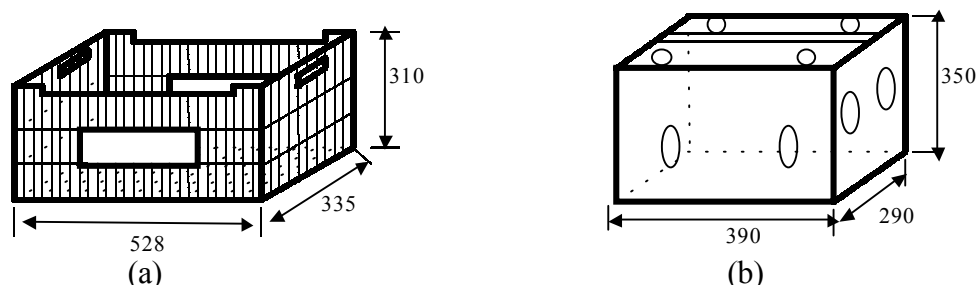
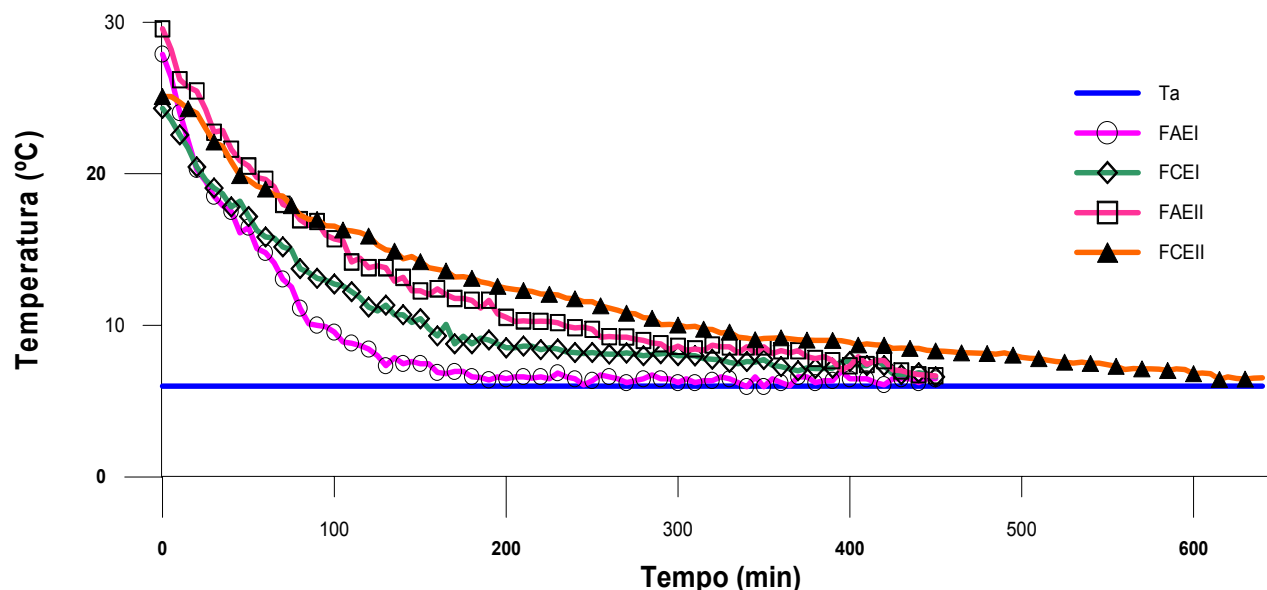
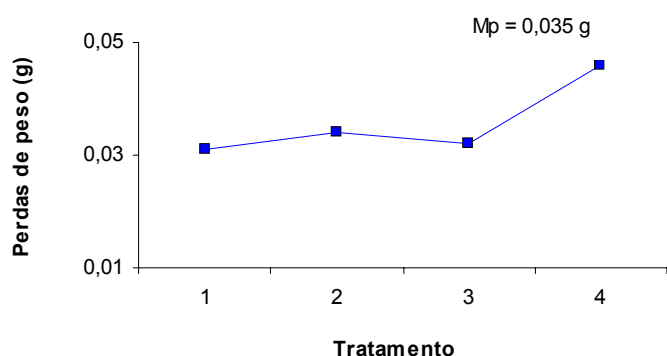


FIGURA 2- (a). Representação esquemática das dimensões das embalagens. (a)- Embalagem plástica, (EI-40% área efetiva de abertura). (b). Embalagem de papelão (EII-3,2% área efetiva de abertura). Campinas - UNICAMP, 2000.



**FIGURA 3** - Curvas de resfriamento obtidas em todos os testes de resfriamento de banana para o ponto 1. Ta – temperatura do ar de resfriamento; FAEI (fluxo de 1.930 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 40% de área efetiva de aberturas; FAEII (fluxo de 1.930 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 3,5% de área efetiva de abertura), FCEI (fluxo de 1.160 m<sup>3</sup>/h e embalagem com área de abertura 40% de área efetiva de abertura); FCEII (1.160 m<sup>3</sup>/h e embalagem com 3,2% de área efetiva de abertura). Campinas - UNICAMP, 2000.



**FIGURA 4** - Comportamento das perdas de massa por penca de bananas resfriadas com ar forçado. Campinas - UNICAMP, 2000.

**TABELA 1** - Tempo de resfriamento das bananas resfriadas com ar forçado, dois fluxos de ar e dois tipos de embalagens. Campinas - UNICAMP, 2000.

Tratamento	Ponto 1		Ponto 2	
	TAT <sub>1/2</sub> (min)			
FAEI	45,0 ± 5,0*	67,5 ± 7,5*		
FCEI	77,5 ± 7,5*	110,0 ± 5,0*		
FAEII	75,0 ± 5,0*	120,0 ± 10,0*		
FCEII	142,5 ± 7,5*	192,5 ± 12,5*		
TAT <sub>7/8</sub> (min)				
FAEI	117,5 ± 2,5*	167,5 ± 7,5*		
FCEI	240,0 ± 5,0*	312,5 ± 7,5*		
FAEII	302,5 ± 7,5*	320,0 ± 10,0*		
FCEII	462,5 ± 12,5*	555,0 ± 15,0*		

\* significativo ao nível de 10%, teste F.

**TABELA 2** - Valores das perdas de massa (Mp) por penca de bananas resfriadas com ar forçado. Campinas - UNICAMP, 2000.

Tratamento	Mp (g)	Mp (%)
FAEI	0,031 ± 0,026	2,25 ± 2,02
FCEI	0,034 ± 0,030	2,64 ± 2,67
FAEII	0,032 ± 0,028	2,47 ± 2,48
FCEII	0,046 ± 0,030	2,69 ± 1,56
<b>M é dia</b>	<b>0,035 ± 0,028</b>	<b>2,512 ± 2,185</b>

## CONCLUSÕES

- Existe uma influência significativa do tipo de embalagem e do fluxo de ar no tempo de resfriamento de bananas.

- Uma maior eficiência no resfriamento é obtida quando usadas as embalagens com 40% de área de aberturas. Por esta razão, considera-se necessário o projeto de uma embalagem adequada ao resfriamento com ar forçado.

- Para o resfriamento rápido de bananas, o uso de embalagens que no mínimo possuam 40% de área de abertura e uso de sistemas de resfriamento com ar forçado permitem obter curtos tempos de resfriamento e perdas de massa insignificantes nos frutos, após o resfriamento.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSARI, F. A., AFAQ, A. Pre-cooling of cylindrical food products. **International Journal of Refrigeration**, v. 9, n. 5, p.161-163, 1986.
- ARIFIN, B. B., CHAU, K. V. Forced air cooling of strawberries. **American Society of Agricultural Engineers: ASAE**, Paper no. 87-6004, St. Joseph, USA, 1987.
- ARIFIN, B. B., CHAU, K. V. Cooling of strawberries in cartons with new vent hole designs. **ASHRAE Transactions**, v. 94, n. 1, p. 1415-1426, 1988.
- ASHRAE. Commodity Storage Requirements. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1994.
- BAIRD, C. D., CHAU, K. V., GAFFNEY, J. J. An engineering/economic model for evaluating forced-air cooling systems for fruits and vegetables. **Refrigeration Science and Technology**. Institute International of Refrigeration, 1985, p. 259-266.
- BAIRD, C. D., GAFFNEY, J. J., TALBOT, M. T. Design criteria for efficient and cost effective forced-air cooling systems for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**. v. 94, p. 1434-1453, 1988.
- CHAU, K. V.; GAFFNEY, J. J.; BAIRD, C. D.; CHURCH, G. A. Resistance to air flow of oranges in bulk and in cartons. **Transactions of ASAE**. v. 28, n. 6, p. 2083-2088. 1985.
- FRASER H., OTTEN, L. Predicting  $7/8$  cooling times for peaches by comparing heat transfer modelling and field measurement methods. **American Society of Agricultural Engineers**. ASAE. Paper no. 92-6016. 10 p. 1992.
- KADER, A.A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 2.ed. Division of Agriculture and Natural Resources. Davis: University of California, n. 3311, 295p, 1992.
- IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. **Boletim Informativo**. Relatório, outubro, 1999.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons. 1992. 527 p.
- NOVY, M., KIECKBUSH, T.G. Equações para o cálculo do tempo de resfriamento em leitos de frutas esféricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 6, p. 1-16, 1986.
- TALBOT, M. T., CHAU, K. V. **Precooling strawberries**. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Circular 942. 1991. 8 p.
- TERUEL M. B. J; CORTEZ, L. A. B.; LEAL, P. M.; LIMA, G. A B. Obtenção numérico-experimental das curvas de resfriamento de laranja (variedade Valência). In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM)**, 12, 1999. *Anais*.....