

CURVAS DE DIFUSÃO DE CALOR EM FRUTOS DE TRÊS VARIEDADES DE MANGAS SUBMETIDOS AO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO¹

Marcelo da Costa Mendonça²
Antônio Souza do Nascimento³
Ranulfo Correa Caldas³

RESUMO

Neste trabalho, determinou-se um modelo de função que melhor explicasse a difusão de calor em mangas dos cultivares 'Keitt', 'Tommy Atkins' e 'Haden', submetidas ao tratamento hidrotérmico. A temperatura da polpa dos frutos foi avaliada em três diferentes profundidades (1,5; 2,5 e 3,5 cm). Os frutos com massa fresca entre 450 e 800 g, a intervalos de 50 g, foram tratados em água a 46,0°C, por um período de 75 e 90 minutos. A análise da variância das regressões assintóticas definiu a função $y = a + b \cdot \exp(-cx)$ como a que melhor se ajustou às curvas de difusão de calor nos frutos. O ganho de calor foi maior nos cultivares 'Keitt' e 'Tommy Atkins', independentemente da massa e da profundidade da polpa, comparado com o do cultivar 'Haden'.

Palavras-chave: *Mangifera indica*, mosca-das-frutas, quarentena, modelo de função.

ABSTRACT

HEAT DIFFUSION CURVES FOR MANGO FRUITS OF THREE VARIETIES SUBMITTED TO WATER DIP TREATMENT

A function model was determined that best explained the heat diffusion in mango

¹ Aceito para publicação em 08.12.2003.

² Dep. de Engenharia Agrônômica/UFS, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Jardim Rosa Elze. 49100-000 São Cristóvão-SE. E-mail: mar_mend@hotmail.com

³ Embrapa Mandioca e Fruticultura/CNPMPF. Rua da Embrapa, s/n. Cx. P. 007. 44380-000 Cruz das Almas, BA. E-mail: antnasc@cnpmf.embrapa.br

fruits of the varieties 'Keitt', 'Tommy Atkins' and 'Haden', submitted to water dip treatment. The temperature of the pulp fruit was monitored at three different depths (1.5, 2.5 and 3.5 cm). Fruits with weights from 450 to 800 g, at intervals of 50 g, were treated in water at 46.0°C, for a period of 75 and 90 minutes. The analysis of variance of the asymptotic regressions defined the function $y=a+b.exp(-cx)$ as the best fitted to the heat diffusion curves in the fruits. The heat gain was higher for the varieties 'Keitt' and 'Tommy Atkins', regardless of the weight and depth of the pulp, when compared with the cultivar 'Haden'.

Key words: *Mangifera indica*, fruit flies, quarantine, function models.

INTRODUÇÃO

A possibilidade de introdução de espécies exóticas de mosca-das-frutas é uma ameaça real para os países importadores de frutos *in natura*. Por esta razão, os serviços de inspeção e defesa vegetal impõem restrições quarentenárias, a fim de evitar a entrada daquelas espécies nestes países. Após a proibição do dibrometo de etileno, o tratamento hidrotérmico é o método mais utilizado pela maioria dos países exportadores de manga, para desinfestação pós-colheita dos frutos.

O tratamento hidrotérmico consiste em submergir mangas em água a 46,0°C, por 75 e 90 minutos, em frutos de até 425 g e de 426 a 650 g, respectivamente. Essa tecnologia vem sendo praticada pela agroindústria desde a sua aprovação pelo USDA (United States Department of Agriculture), em 1989.

O uso do calor, variando de intensidade e tempo de aplicação em tratamento pós-colheita de frutos, foi estudado por vários autores (1, 3, 11, 13, 14, 15, 17). Estes estudos visaram definir o tempo e temperaturas que provoquem a mortalidade de 99,9968% (Probit 9) de larvas de mosca-das-frutas, sem causar danos aos frutos. Submetidas ao tratamento com calor, as larvas de mosca-das-frutas apresentaram diferentes graus de resistência tanto nas espécies como nos diferentes estádios de desenvolvimento. O sucesso dos tratamentos depende de certos fatores, como o conhecimento da cinética da mortalidade térmica da mosca-das-frutas (9), as características de difusão térmica do fruto (8) e a habilidade em manipular o tempo e a temperatura de tratamento.

O teor de fibra, os sólidos solúveis e o conteúdo de água variam entre os cultivares de manga (5). Paralelamente, o estágio de maturação dos frutos no momento do tratamento térmico influencia na propagação do calor através da polpa. Tratamentos que utilizam calor para eliminar insetos se baseiam na tolerância térmica destes e na do fruto, e na difusão do calor no produto infestado (9).

A necessidade de uma reavaliação da relação tempo/temperatura no tratamento hidrotérmico de manga, que estabeleceu o Probit 9 como critério quarentenário, está baseada na metodologia empregada para sua determinação. O objetivo do Probit 9 é alcançar uma mortalidade de larvas de mosca-das-frutas de 99,9968%, levando-se em consideração que a área de produção de frutos tenha uma infestação de 100%. A APHIS-PPQ e USDA (Animal and Plant Health Inspection Service-Plant Protection Quarentine e United States Department of Agriculture) estabeleceram o nível de segurança para os tratamentos cujas taxas de mortalidade sejam baseadas no Probit 9 (2). Entretanto, os critérios quarentenários deveriam basear-se, em princípio, no nível de infestação em campo, onde medidas rigorosas de pré-tratamento devem ser estabelecidas (10), nos conhecimentos de difusão de calor na polpa dos frutos e na determinação da temperatura letal para larvas e ovos de tefritídeos.

O objetivo deste estudo foi determinar as curvas de difusão de calor nos frutos dos cultivares de manga 'Keitt', 'Tommy Atkins' e 'Haden', em três profundidades da polpa, visando estabelecer correlação com as curvas de mortalidade térmica da mosca-das-frutas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas-BA. Os frutos, todos de primeira qualidade, procederam do município de Petrolina-PE, utilizando-se os cultivares 'Tommy Atkins', 'Keitt' e 'Haden'. Os frutos foram colhidos com ponto de maturação para exportação, apresentando como características externas "ombros" cheios, casca lisa e coloração verde-clara brilhante, sem serosidade.

Um banho-maria ultratermostático Fanem, modelo 111, com circulação constante de água, a uma temperatura de $46,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, simulou o tratamento hidrotérmico dos frutos, aproximando-se ao máximo do método comercial. A temperatura da polpa dos frutos e da água foi avaliada por um termômetro digital de varredura Cole-Palmer, com 12 sensores acoplados. Os dados foram registrados automaticamente em intervalos de cinco minutos.

Utilizaram-se frutos com massa fresca de 450 a 800 g (em intervalos de 50 g), submersos em água a $46,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sendo os tempos de imersão de 75 e 90 minutos, nos intervalos de massa entre 450-649 e 650-800 g, respectivamente.

A temperatura interna dos frutos foi avaliada a 1,5; 2,5 e 3,5 cm de profundidade da polpa, sendo cada termopar inserido perpendicularmente à superfície dos frutos, em direção ao caroço, e vedado com parafina. Para

cada cultivar, utilizaram-se seis repetições/profundidade de polpa e um fruto/repetição, medindo-se, em um mesmo fruto, as temperaturas nas referidas profundidades.

Na análise dos dados, foram utilizados dois procedimentos estatísticos. Na avaliação do processo de difusão do calor, foram estimadas funções relacionando a temperatura interna dos frutos com o tempo, nos diversos cultivares e massa. Foram testadas diferentes funções, identificando-se a que melhor descrevesse a propagação do calor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A função assintótica que melhor se ajustou às curvas de ganho de calor foi expressa por $y = a + b \cdot \exp(-cx)$, em que: y = temperatura interna dos frutos (ganho de calor); x = tempo de tratamento; e a , b , c = parâmetros estimados.

Os modelos de função de aquecimento apresentam vantagens no desenvolvimento de tratamentos quarentenários, ajudando na determinação dos limites da fitotoxicidade e mortalidade da praga. Embora as curvas tenham descrito a mesma tendência geral em todas as massas dos frutos, isso não significa que sejam necessariamente iguais.

Nos resultados das análises de variância das regressões assintóticas dos frutos de manga, o R^2 ajustado foi superior a 95%, em todos os tratamentos, indicando o alto grau de ajustamento da função estimada. Vários tipos de modelos matemáticos de curvas que descrevessem melhor o aquecimento interno de grupos de frutas e verduras em tratamentos quarentenários foram estudados, considerando-se os melhores modelos aqueles com alto valor do R^2 ($\geq 0,926$), indicando, em alguns casos, o modelo de equação exponencial, em que a temperatura aumenta rapidamente no início e em seguida estabiliza-se até o final dos tratamentos térmicos (7).

Os valores da função $y = a + b \cdot \exp(-cx)$ demonstraram o processo de difusão de calor nas três profundidades da polpa dos frutos de manga, entre as diferentes variedades, nos intervalos de massa entre 450 e 550 e 650 e 750 g (Figuras 1 e 2). O modelo de função neste trabalho forneceu a descrição mais precisa da difusão do calor em todos os intervalos de peso estudados, produzindo uma curva característica, que descreve inicialmente uma taxa constante de aquecimento, seguindo-se uma leve tendência à igualdade, entre os cultivares, e finalizou em uma linha horizontal que denota um ganho de calor semelhante e máximo nas três variedades. As curvas são uniformes entre os tratamentos nos diferentes intervalos de massa (Figuras 1 e 2).

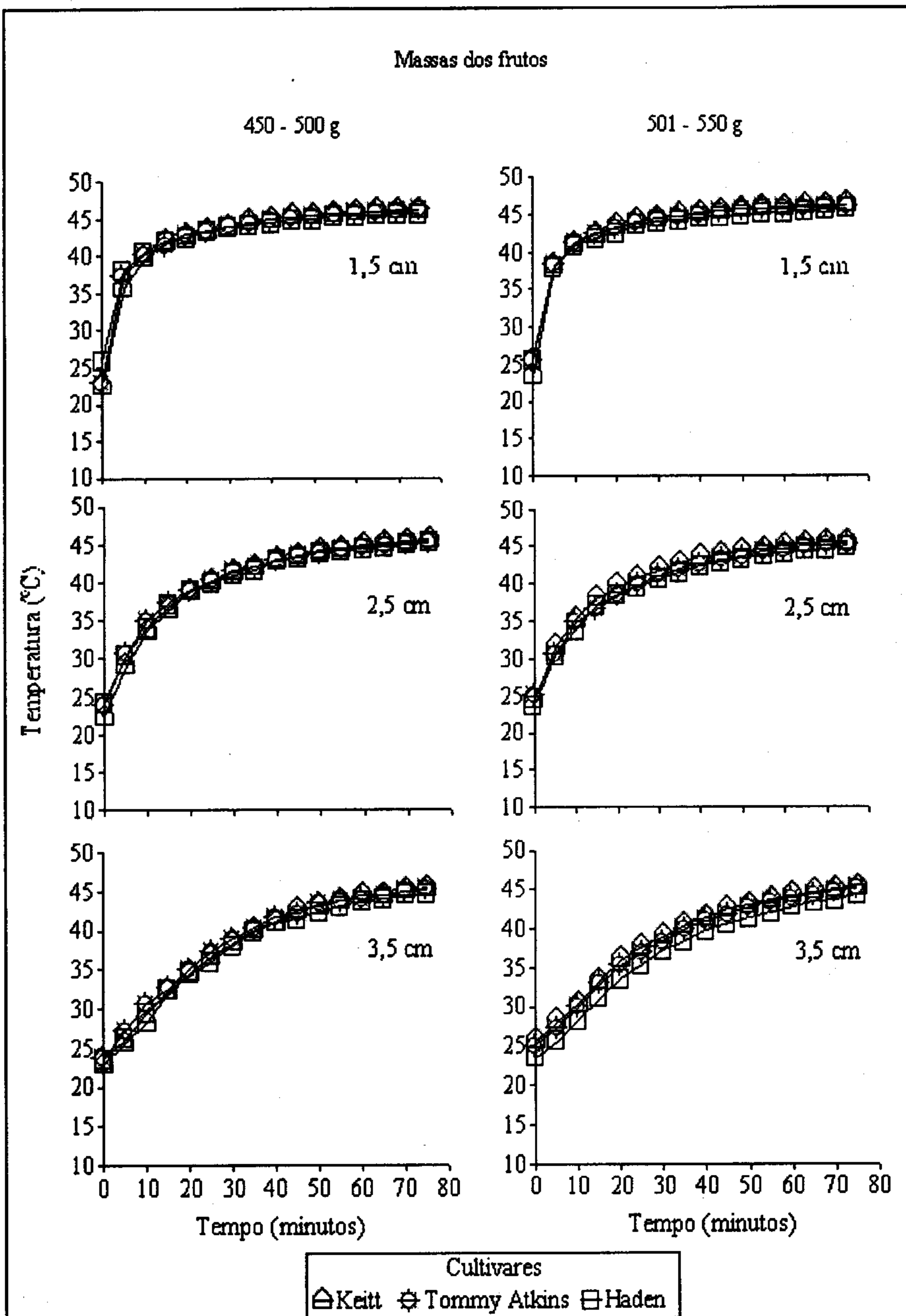


FIGURA 1 - Difusão de calor em cultivares de manga, com massas entre 450-500 e 501-550 g, nas três profundidades de polpa (1,5; 2,5 e 3,5cm), submersas em água a 46,1°C, por 75 minutos.

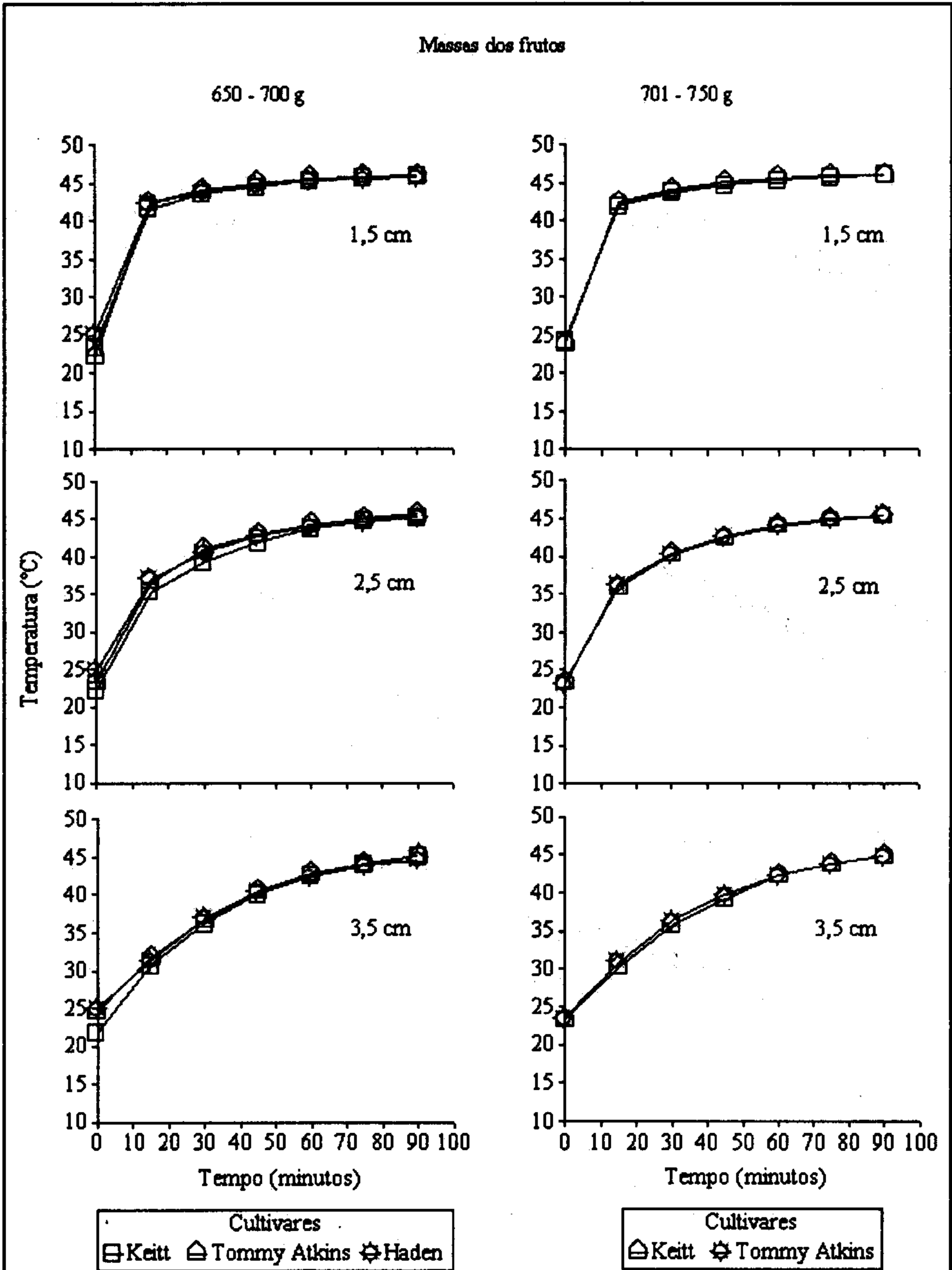


FIGURA 2 - Difusão de calor em cultivares de manga, com massas entre 650-700 e 701-750 g, nas três profundidades de polpa (1,5; 2,5 e 3,5cm), submersas em água a 46,1°C, por 90 minutos.

No início dos testes, a transferência de calor nas três variedades de manga apresentou ligeira desigualdade, e, ao final, essa diferença tendeu a desaparecer, sendo inferior a 1°C. Este fato pode ser atribuído à variação da temperatura inicial dos frutos antes de se começar o tratamento (4). Essa diferença na transferência de calor entre a água e a polpa do fruto parece ser determinada pela espessura da casca e pelo formato do fruto. A cultivar 'Haden' ganhou calor mais lentamente do que a 'Tommy Atkins' e a 'Keitt'.

A temperatura da polpa entre o início e o término do tratamento variou de 22,52 a 46,32°C, 22,23 a 45,73°C e 21,90 a 45,37°C, nas profundidades de polpa 1,5; 2,5 e 3,5 cm, respectivamente.

Durante o intervalo de tempo dos tratamentos a temperatura da polpa do fruto no início do tratamento. Verificou-se uma diferença significativa, de 0,53°C, a 1%, na profundidade de 3,5 cm, entre o cultivar 'Haden' e os demais.

A comparação das médias das temperaturas internas dos frutos possibilitou conhecer a relação do ganho de calor entre os cultivares e os intervalos de massa fresca. Nos frutos com as massas entre 701 e 750 e 751 e 800 g, a variação de temperatura na maior profundidade de polpa (3,5 cm) foi de 23,28, a 44,81°C, e 23,16, a 44,96°C, respectivamente. As Figuras 1 e 2 evidenciam a uniformidade da difusão de calor entre os frutos com diferentes massas e dos distintos cultivares. As diferenças entre os tratamentos desapareceram no final dos 90 minutos, o que indica tendência à linearidade das curvas de ganho de calor, aproximando-se da temperatura da água.

Comparando-se o primeiro intervalo de massa (450-500 g) e o último (751-800 g), a diferença entre a temperatura a 3,5 cm de profundidade de polpa no final dos tratamentos é de 0,21°C, demonstrando a semelhança entre os tratamentos nos diferentes cultivares (Figuras 1 e 2).

No Quadro 1, baseado nos resultados de temperatura letal para frutos infestados por moscas-das-frutas submetidas a tratamento hidrotérmico a 46,1°C (6, 15) e larvas de 3º estágio de *Ceratitis capitata* (12), e naqueles encontrados no presente trabalho, mostram os valores do uso da função assintótica $y = a + b \cdot \exp(-cx)$ estimando o tempo necessário de tratamento comercial de frutos de manga. A extrapolação dos dados encontrados por Sharp (15), Nascimento (12) e Hallman (6) foi utilizada para fazer um paralelo entre a mortalidade de larvas de mosca-das-frutas e o ganho de calor pelos frutos de manga (Quadro 1). Neste quadro, são apresentados somente os cálculos na maior profundidade de polpa dos frutos, sendo este o local mais crítico para a mortalidade das larvas em mangas.

QUADRO 1 - Estimativa do tempo de mortalidade das moscas-das-frutas submetidas ao tratamento hidrotérmico a 46,1°C, em frutos de três cultivares de manga, quatro pesos e profundidade de polpa de 3,5 cm, baseado na substituição de dados de pesquisa de diferentes autores na função assintótica $y = a + b \cdot \exp(-cx)$.

| Tratamento* | Valores dos parâmetros da função | | | Estimativa de tempo (min.)/Autores** | | |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|------------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| | a | b | c | A1 - 45,5°C | A2 - 44,9°C | A3 - 45°C |
| C1.P1.Pr3 | 47,80686813 | -25,7550622 | 0,03317523 | 72,73 | 65,76 | 66,81 |
| C1.P2.Pr3 | 47,46328893 | -22,3881043 | 0,03221131 | 75,56 | 67,28 | 68,52 |
| C1.P3.Pr3 | 47,65823074 | -24,0694203 | 0,02943911 | 81,92 | 73,59 | 74,84 |
| C1.P4.Pr3 | 47,60139312 | -26,0175665 | 0,02726455 | 92,29 | 83,08 | 84,46 |
| C2.P1.Pr3 | 47,1410576 | -23,6191791 | 0,03486821 | 76,48 | 67,54 | 68,85 |
| C2.P2.Pr3 | 47,6223926 | -23,1608527 | 0,03067786 | 77,90 | 69,79 | 71,01 |
| C2.P3.Pr3 | 47,7388155 | -23,5943855 | 0,02852485 | 82,56 | 74,24 | 75,49 |
| C2.P4.Pr3 | 46,2993995 | -23,3529291 | 0,03349466 | 100,75 | 84,03 | 86,25 |
| C3.P1.Pr3 | 47,0862831 | -24,0546737 | 0,03262498 | 83,34 | 73,51 | 74,94 |
| C3.P2.Pr3 | 47,1674129 | -24,3434085 | 0,02885953 | 92,90 | 82,25 | 83,81 |
| C3.P3.Pr3 | 46,4327872 | -23,7898937 | 0,03131480 | 103,43 | 87,57 | 89,72 |
| C3.P4.Pr3 | 47,0755450 | -21,7403162 | 0,02727281 | 96,23 | 84,40 | 86,13 |
| *Cultivares | Massa dos frutos | Profundidade da polpa | **Autores | | | |
| C1- Keitt | P1- 450-500g | Pr3- 3,5 cm | A1 (15) | | | |
| C2- Tommy Atkins | P2- 501-550g | | A2 (12) | | | |
| C3- Haden | P3- 551-600g | | A3 (6) | | | |
| | P4- 601-650g | | | | | |

A projeção dos tempos de tratamento para os frutos com massa fresca superiores a 450 g até 500 g é de cerca de 65,76 a 83,34 minutos (Quadro 1). Na maior estimativa de tempo de exposição (83,34 minutos), nos frutos de 450-500 g de massa fresca, o tempo de tratamento deve ser reduzido em aproximadamente sete minutos, o que diminuiria as perdas de qualidade das mangas, após a submersão em água quente. Essas estimativas superam os valores encontrados por Sharp (15) e Sharp et al. (16), que determinaram, via cálculo de Probit 9, um tempo de imersão, para frutos de 625 g (> 700 g), de 67,5 minutos (60,4-78,5 minutos) para a morte de 99,9968% de larvas de *C. capitata* (maioria em 3º estágio) e de 64,5 minutos (58,4-73,3 minutos), para a espécie *Anastrepha serpentina*.

A temperatura letal para larvas de *C. capitata* é de 44,5 a 44,9°C, com 15 minutos de imersão (9, 12). Os dados de difusão de calor na polpa do fruto das três variedades de manga, obtidos neste trabalho, associados aos da temperatura letal para larvas de *C. capitata*, demonstram a validade dos modelos de função propostos.

CONCLUSÕES

1) A mesma função assintótica representa o ganho de calor nos intervalos de pesos, nos três cultivares de manga.

2) O ganho de calor a 1,5 e 2,5 cm de profundidade da polpa é o mesmo nos frutos com pesos entre 450 e 650 g, tratados por 75 minutos.

3) Frutos com pesos entre 651 e 700 g, tratados por 90 minutos, apresentam ganho de calor diferente. Essa diferença é devida ao cultivar 'Haden', que ganha calor mais lentamente que os cultivares 'Tommy Atkins' e 'Keitt'.

REFERÊNCIAS

1. AMSTRONG, J.W.; HANSEN, J.D.; HU, B.K.S. & BROWN, S.A. High temperature, forced air quarantine treatment for papayas infested with tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal Economic Entomology*, 82: 1667-74, 1989.
2. BAKER, A. C. The basis for treatment of products where fruit flies are involved as a condition for entry into the United States. Florida, USDA, 1939. 8p. (Circular no. 551).
3. COUYE, H.M. & HAYES, C.F. Quarentine procedure for Hawaiian papayas using fruit selection and a two-stage hot-water immersion. *Journal Economic Entomology*, 79: 1307-14, 1986.
4. DUARTE, A.L.A. Avaliação do tratamento térmico em ovos e larvas de três espécies de Tefritídeos (Diptera). São Paulo, Instituto de Biociências-USP, 1996. 104p. (Tese de doutorado).
5. FONSECA, N.; SILVA, S.O. & SAMPAIO, J.M.M. Caracterização e avaliação de cultivares de manga na região do Recôncavo Baiano. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 16: 29-45, 1994.

6. HALLMAN, G.J. Vapor-heat treatments of carambolas infested with Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal Economic Entomology*, 83: 2340-2, 1990.
7. HANSEN, J.D. Heating curve models of quarantine treatments against insect pests. *Journal Economic Entomology*, 85: 1846-54, 1992.
8. HAYES, C.F. Thermal diffusivity of papaya fruit (*Carica papaya* L., var. Solo). *Journal Economic Entomology*, 49: 1219-21, 1984.
9. JANG, E.B. Kinetics of thermal death in eggs and first instars of the three species of fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal Economic Entomology*, 79: 700-5, 1986.
10. LANDOLT, P.J.; CHAMBERS, D.L. & CHEW, V. Alternative to the use of probit 9 mortality as a criterion for quarantine treatments of fruit fly (Diptera: Tephritidae) infested fruit. *Journal Economic Entomology*, 77: 285-7, 1984.
11. NASCIMENTO, A.S. do; MALAVASI, A.; MORGANTE, J.S. & DUARTE, A.L.A. Hot-water immersion treatment for mangoes infested with *Anastrepha fraterculus*, *A. obliqua* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Brazil. *Journal Economic Entomology*, 85: 456-60, 1992.
12. NASCIMENTO, A.S. do. Aspectos ecológicos e tratamento pós-colheita de moscas-das-frutas (Tephritidae) em manga *Mangifera indica*. São Paulo, Instituto de Biociências-USP, 1990. 97p. (Tese de doutorado).
13. SEGARRA-CARMONA, A.E.; FRANQUI, R.A.; RAMIREZ-RAMOS, L.V.; SANTIAGO, L.R. & TORRES-RIVERA, C.N. Hot water dip treatments to destroy *Anastrepha obliqua* larvae (Diptera: Tephritidae) in mangoes from Puerto Rico. *Journal of the Agriculture University Puerto Rico*, 74: 441-7, 1990.
14. SHARP, J.L. Heat and cold treatments for postharvest quarantine disinfestation of fruit flies (Diptera: Tephritidae) and other quarantine pest. *Florida Entomology*, 76: 212-7, 1993.
15. SHARP, J.L. Hot-air quarantine treatment for mango infested with Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal Economic Entomology*, 85: 2302-4, 1992.
16. SHARP, J.L.; OUYE, M.T.; INGLE, S.J.; HART, W.G.; ENKERLIN, W.R.H.; CELEDONIO, H.H.; TOLEDO, J.A.; STVENS, L.; QUINTERO, E.; REYES, J. & SCHUARZ, A. Hot water quarantine treatment for mangoes from the State of Chiapas, México, infested with mediterranean fruit fly and *Anastrepha serpentina* (Wiedmann) (Diptera: Tephritidae). *Journal Economic Entomology*, 82: 1663-6, 1989.
17. SHARP, J.L. Hot-water treatment for control of *Anastrepha suspensa* in mangos. *Journal Economic Entomology*, 79: 706-8, 1986.