Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Efeito do tratamento hidrotérmico quarentenário na pós-colheita de mamão

Evellyn Couto Oliveira Resende

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica
de Plantas

Piracicaba
2016

Evellyn Couto Oliveira Resende
Engenheira Agrônoma

Efeito do tratamento hidrotérmico quarentenário na pós-colheita de mamão

Orientador:
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Resende, Evellyn Couto Oliveira

Efeito do tratamento hidrotérmico quarentenário na pós-colheita de mamão
/ Evellyn Couto Oliveira Resende. - - Piracicaba, 2016.

82 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz".

1. *Carica papaya* L. 2. Armazenamento refrigerado 3. Conservação de
frutos 4. Manejo pós-colheita I. Título

DEDICATÓRIA

Ao meu adorável filho Vicente e ao meu amado marido Paulo Resende.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar a oportunidade de viver, por me proporcionar momentos felizes, por me fazer crescer em momentos difíceis e por guiar meus passos ao longo de minha vida.

Ao professor Dr. Angelo Pedro Jacomino por sua paciência, dedicação e ensinamentos durante todos esses anos de convivência, por quem tenho enorme carinho e respeito.

Ao meu pai, minha mãe e minhas irmãs que sempre me ampararam e me incentivaram, acreditando em mim em todos os momentos.

Ao meu marido Paulo Alves Resende pelo seu amor, carinho, compreensão e ajuda durante todo esse período, sempre me apoiando e não me deixando desistir jamais.

Ao meu filho Vicente de Paulo Couto Resende que me torna uma pessoa melhor a cada dia.

Aos professores Dr^a. Marta Helena Spoto, Dr. Ricardo Kluge e Dr. Eduardo Purgatto, que gentilmente cederam as instalações de seus laboratórios para realização de meus experimentos.

À ESALQ/USP por fornecer toda a infraestrutura necessária para o desenvolvimento do doutorado.

Aos produtores e às empresas do Estado do Espírito Santo por disponibilizarem os mamões para a realização deste trabalho.

À CAPES e à FAPESP pela concessão das bolsas de estudo do doutorado.

À secretária do PPG em Fisiologia e Bioquímica de Plantas Maria Solizete pelo carinho, atenção e ajuda, principalmente nos momentos mais difíceis e turbulentos.

Ao técnico Marcos José Trevisan, que me ajudou na condução dos meus experimentos e compartilhou comigo ensinamentos e experiências.

Às colegas Rafaela Vieira, Vitória Parini, Amanda Pironato e Débora Bezerra que me ajudaram na realização dos meus experimentos.

Ao Laboratório Oficial de Análise de Sementes (LASO/LANAGRO/PA) que neste final de doutorado me deu a oportunidade de crescimento profissional.

Aos amigos, professores e funcionários da ESALQ/USP que tive a oportunidade de conhecer durante o doutorado e que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse projeto.

À toda sociedade brasileira pelos anos de estudo em uma instituição pública.

EPÍGRAFE

“Aquele que aprende e não coloca em prática é como aquele que ara e não semeia.”

Saadi

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
Referências	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. PÓS-COLHEITA DO MAMÃO	13
2.2. TRATAMENTO HIDROTÉRMICO	13
2.3. ARMAZENAMENTO REFRIGERADO.....	16
Referências	18
3. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM MAMÕES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO QUARENTENÁRIO.....	25
Resumo	25
Abstract	25
3.1. INTRODUÇÃO	26
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
Referências.....	41
4. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE MAMÕES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO QUARENTENÁRIO	49
Resumo	49
Abstract	49
4.1. INTRODUÇÃO	50
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	51
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
Referências.....	69
ANEXOS.....	80

RESUMO

Efeito do tratamento hidrotérmico quarentenário na pós-colheita de mamão

O mamão é um fruto climatérico, cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente após a colheita e são desencadeadas pela produção de etileno e aumento da respiração, sendo um fruto bastante perecível. O uso de tecnologias como o tratamento térmico e a refrigeração se torna necessário, pois elas eliminam ovos e/ou larvas de mosca-das-frutas e controlam o desenvolvimento de microrganismos, aumentando a vida de prateleira desse fruto. No entanto, podem causar alterações nos processos do amadurecimento e danos à integridade da membrana plasmática. Dessa forma, o projeto tem como objetivo estudar a fisiologia, bioquímica, qualidade e conservação pós-colheita de mamão após a aplicação do tratamento hidrotérmico quarentenário e do armazenamento refrigerado. Mamões 'Golden' no estágio de maturação 1 foram divididos em dois lotes, sendo um submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, seguida de imersão em água fria a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por igual período e o outro lote utilizado como controle (sem tratamento hidrotérmico). Parte dos frutos foi armazenada a $22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 7 dias e parte a $11 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 20 dias, seguido de armazenamento a $22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 3 dias. Os mamões foram avaliados com relação aos aspectos bioquímicos e fisiológicos e às características organolépticas. Observamos que a atividade respiratória, a produção de etileno, o teor de ácido ascórbico e a perda de massa fresca acumulada diminuíram nos frutos tratados termicamente, principalmente quando estes foram armazenados sob refrigeração. A análise sensorial demonstrou que os frutos tratados termicamente foram preferidos em relação ao sabor e à textura e a diminuição da quantidade de linalool presente nos mamões submetidos ao armazenamento refrigerado indicou que o frio influenciou de forma negativa o aroma. As enzimas analisadas não possuíram um padrão de atividade durante os dias avaliados. Sendo assim, estudos futuros sobre a expressão dos genes relacionados ao amadurecimento de mamões são necessários para um melhor entendimento das respostas encontradas quando da aplicação do tratamento hidrotérmico quarentenário e do armazenamento refrigerado.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Armazenamento refrigerado; Conservação de frutos, Manejo pós-colheita

ABSTRACT

Hydrothermal quarantine treatment effect in papaya postharvest

Papaya is a climacteric fruit whose transformations resulting from ripening occur rapidly after harvest and are triggered by the production of ethylene and increased respiration, being a very perishable fruit. The use of technologies such as heat treatment and cooling is necessary because they eliminate eggs and/or larvae of fruit fly and control the microorganisms' growth, increasing the shelf life of this fruit. However, they can cause changes in the processes of maturation and damage in the plasma membrane integrity. Thus, the project aims to study the physiology, biochemistry, quality and papaya postharvest preservation after application of hydrothermal quarantine treatment and refrigerated storage. Golden papaya in maturity stage 1 were divided into two batches, one being subjected to hydrothermal quarantine treatment to $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 minutes, followed by immersion in cold water to $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the same period and the other lot used as a control (no hydrothermal treatment). Part of the fruits were stored at $22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 7 days and some at $11 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 20 days, followed by storage at $22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 3 days. The papayas were evaluated with respect to biochemical and physiological aspects and organoleptic characteristics. We observed that the respiratory rate, ethylene production, the ascorbic acid content and the accumulated loss of fresh weight decreased in heat-treated fruit, especially when they are stored under refrigeration. Sensory analysis showed that the heat treated fruit were preferred in taste and texture and decrease the amount of linalool present in papayas subjected to cold storage showed that the cold negatively affected the scent. The enzymes analyzed did not possess a pattern of activity during the evaluation days. Thus, future studies on the expression of genes related to the ripening papayas are needed for a better understanding of the solutions when applying the hydrothermal quarantine treatments and refrigerated storage.

Keywords: *Carica papaya* L.; Cold storage; Preservation of fruits; Postharvest handling

1. INTRODUÇÃO

O armazenamento em baixas temperaturas, logo em seguida à colheita, é a técnica mais utilizada para prolongar a conservação dos produtos hortícolas (BRON; JACOMINO; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, 2002), que visa minimizar a intensidade do seu metabolismo normal, sem alterar seus processos fisiológicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005), reduzir a produção e ação do etileno e retardar o crescimento dos microrganismos (BARKAI-GOLAN, 2001). Entretanto, mesmo sob condições adequadas de temperatura e umidade relativa não se obtém conservação satisfatória por longo período, devido às perdas de massa, firmeza e incidência de podridões (PICANÇO, 2009). Assim, outras técnicas têm sido estudadas para minimizar os efeitos do amadurecimento, entre elas a aplicação de tratamento térmico.

Os tratamentos térmicos são usados há muitos anos para livrar os materiais vegetais de patógenos (GRONDEAU; SAMSON; SANDS, 1994). No caso de frutos, os tratamentos térmicos têm sido utilizados para desinfestação de insetos, controle de doenças, modificação das respostas dos frutos a outros estresses e manutenção da qualidade desses frutos durante o armazenamento (LURIE, 1998; McDONALD; McCOLLUM; BALDWIN, 1999).

Durante os últimos anos houve um crescente interesse na utilização de tratamentos térmicos de pós-colheita, uma vez que a qualidade dos frutos tratados foi significativamente melhor do que a dos não tratados, devido uma redução acentuada na incidência de podridão e manutenção de inúmeras características de qualidade (FALLIK, 2004). No Brasil, desde a década de 90, o tratamento térmico vem sendo utilizado para desinfestação pós-colheita de frutos, objetivando o controle das espécies quarentenárias *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata*, atendendo às exigências quarentenárias do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (NASCIMENTO et al., 1992).

Os tratamentos baseados no emprego de calor através de água quente, vapor e ar quente forçado constituem alternativas interessantes a outras tecnologias de controle quarentenário pelo fato de possibilitarem a desinfestação e o controle simultâneo de insetos e patógenos (PAULL, 1994), modificar a resposta do tecido e manter a qualidade do produto durante o armazenamento (PAULL; CHEN, 2000). Os diversos tratamentos quarentenários disponíveis e utilizados para frutos, apesar de na maioria das vezes viabilizarem sua exportação, podem, se não testados e usados adequadamente, trazer danos irreparáveis aos produtos (LIMA, 2005).

Segundo Shellie e Mangan (1998), a exposição pós-colheita a temperaturas entre 40 e 42 °C frequentemente aumenta o período de armazenamento e melhora o sabor de inúmeros frutos. Os tratamentos térmicos afetam fisicamente a superfície dos frutos através da oclusão das fraturas cuticulares e microfraturas, protegendo os frutos do ataque de patógenos (SCHIRRA et al., 2000), devido à fusão de ceras cuticulares (FERGUSON et al., 2000).

No entanto, apesar da comprovada eficiência dos tratamentos térmicos no controle de doenças e insetos (NISHIJIMA et al., 1992), os frutos que são submetidos a esses tratamentos podem apresentar qualidade organoléptica inferior, caracterizada pela textura desigual no interior desses frutos (MOY; WONG, 2002). Além disso, os tratamentos hidrotérmicos podem alterar as características químicas e fisiológicas de frutos e vegetais. Os sintomas que ocorrem em temperaturas mais elevadas são escaldadura da casca e falha de amaciamento total ou amaciamento a uma taxa reduzida (PAULL; CHEN, 1990). Sendo assim, os efeitos do tratamento térmico têm sido tema de estudos investigando as mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas após a colheita de frutos de espécies tropicais, como mamão.

Referências

- BARKAI-GOLAN, R. **Postharvest diseases of fruits and vegetables: development and control**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 442 p.
- BRON, I.U.; JACOMINO, A.P.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Alterações anatômicas e físico-químicas associadas ao armazenamento refrigerado de pêssegos ‘Aurora-1’ e ‘Dourado-2’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1349-1358, out. 2002.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.
- FALLIK, E. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 125-134, May 2004.
- FERGUSON, I.B.; BEN-YEHOSHUA, S.; MITCHAM, E.J.; McDONALD, R.E.; LURIE, S. Postharvest heat treatments: introduction and workshop summary. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 1-6, Dec. 2000.
- GRONDEAU, C.; SAMSON, R.; SANDS, D.C. A review of thermotherapy to free plant materials from pathogens, especially seeds from bacteria. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 13, n. 1, p. 57-75, Mar. 1994.
- LIMA, A.N. **Uso do tratamento térmico no controle de *Ceratitis capitata* em frutos de sapotizeiro (*Achras sapota* L.)**. 2005. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.
- LURIE, S. Postharvest heat treatments of horticultural crops. In: JANICK, J. (Ed.). **Horticultural Reviews**. Oxford: John Wiley & Sons, 1998. v. 22, p. 91-121.
- McDONALD, R.E.; McCOLLUM, T.G.; BALDWIN, E.A. Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 147-155, Jun. 1999.
- MOY, J.H.; WONG, L. The efficacy and progress in using radiation as a quarantine treatment of tropical fruits – a case study in Hawaii. **Radiation Physics and Chemistry**, Amsterdam, v. 63, n. 3-6, p. 397-401, Mar. 2002.
- NASCIMENTO, A.S.; 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 of Economic Entomology**, Oxford, v. 85, n. 2, p. 456-460, Apr. 1992.

- NISHIJIMA, K.A.; MIURA, C.K.; ARMSTRONG, J.W.; BROWN, S.A.; HU, B.K.S. Effect of forced, hot-air treatment of papaya fruit on fruit quality and incidence of postharvest diseases. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 7, p. 723-727, Jul. 1992.
- PAULL, R.E. Response of tropical horticultural commodities to insect disinfestations treatments. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 9, p. 988-996, Sep. 1994.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 4, p. 623-631, Jul. 1990.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat treatment and fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 21-37, Dec. 2000.
- PICANÇO, N.F.M. **Qualidade de caqui armazenado sob refrigeração**: estádios de maturação, destanização e irradiação ionizante. 2009. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia e Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- SCHIRRA, M.; D'HALLEWIN, G.; BEN-YEHOSHUA, S.; FALLIK, E. Host-pathogen interactions modulated by heat treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 71-85, Dec. 2000.
- SHELLIE, K.C.; MANGAN, R.L. Navel orange tolerance to heat treatments for disinfesting Mexican fruit fly. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 2, p. 288-293, Mar. 1998.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Pós-colheita do mamão

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), pertencente à família Caricaceae, é de origem americana, sendo típico de regiões tropicais e subtropicais, permitindo que seus frutos sejam encontrados durante o ano todo. Apresenta inúmeras variedades que possuem frutos de tamanho, massa, sabor e coloração variados. O mamão apresenta polpa macia e aromática, variando a coloração entre o amarelo-pálido e o vermelho, passando por diversos tons de laranja e salmão. A casca é fina, aderida à polpa, de coloração verde-escura (quando imaturos), que vai se tornando amarelada ou alaranjada à medida que o fruto amadurece. Os frutos contêm papaína, uma substância que apresenta propriedades laxativa e calmante (NEVES, 2009). A Índia é o maior produtor mundial de mamão, seguida por Brasil, Indonésia, Nigéria e México (FAOSTAT, 2016). No Brasil, as maiores produções concentram-se no extremo sul da Bahia e norte do Espírito Santo (TREICHEL et al., 2016).

O mamoeiro é uma das frutíferas mais importantes do Brasil e seu fruto é valorizado devido ao seu alto teor de nutrientes. É um fruto climatérico, cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente após a colheita do fruto fisiologicamente maduro e são desencadeadas pela produção de etileno e aumento da respiração, sendo um fruto bastante perecível na fase de pós-colheita (FONTES et al., 2008). Os principais fatores que depreciam a qualidade dos mamões na pós-colheita são o rápido amaciamento e a elevada incidência de podridões (JACOMINO et al., 2002). Os frutos ainda sofrem danos mecânicos durante o manuseio devido à sua casca fina e não suportam temperaturas baixas, aumentando as dificuldades de armazenamento (BLEINROTH et al., 1992).

As perdas pós-colheita de mamão podem chegar até 75%, estando associadas a efeitos físicos ou danos mecânicos, a causas de origem fisiológica e bioquímica, e a ação de agentes microbianos (VENTURA; COSTA, 2002). O mamão é susceptível a várias doenças, destacando-se as podridões fúngicas causadas por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc., *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maulb., *Phoma carica-papaya* (Tarr.) Punithalingam e *Fusarium* spp., que são responsáveis por perdas consideráveis (ZAMBOLIM et al., 2002). O manejo dessas doenças em pós-colheita começa no campo, onde a infecção nos frutos normalmente ocorre após a floração, resultante da penetração do patógeno por aberturas naturais e/ou ferimentos, ou ainda por danos mecânicos causados durante a colheita, transporte e armazenamento (BENATO, 1999).

Uma vez que o Brasil é um grande produtor de mamões, é de extrema importância que o país adote tecnologias que permitam o controle da mosca das frutas e de doenças de pós-colheita, além de atrasar o amadurecimento e a senescência dos frutos (MOLINARI, 2007). Assim, é necessária a aplicação de processos de conservação que permitam um aumento da vida útil desse fruto (RIBEIRO, 2009), como o tratamento hidrotérmico e o armazenamento refrigerado.

2.2. Tratamento hidrotérmico

O tratamento hidrotérmico ou de choque térmico visa controlar doenças e infestações de insetos, modificar as respostas do tecido a outros tipos de estresses, manter a qualidade do fruto durante o armazenamento,

diminuir o metabolismo de processos relacionados ao amadurecimento e senescência já que a degradação de paredes celulares é interrompida após a exposição dos frutos a esse tratamento, e induzir resistência aos danos externos e lesões na casca (KLUGE et al., 2006; PAULL; CHEN, 2000). Além disso, o tratamento hidrotérmico promove a inativação enzimática por alterar a configuração de proteínas, que é uma das soluções encontradas pela indústria alimentícia para conservação de produtos em seu período de elaboração e armazenamento (LUÍZ; HIRATA; CLEMENTE, 2007). Desta forma, a sobrevivência de microrganismos torna-se inviável ou é dificultada uma vez que a alta temperatura pode levar à lise celular (FRANCO; LANDGRAF, 2008).

A influência do tratamento hidrotérmico pós-colheita sobre o amadurecimento e senescência dos frutos é dependente de vários fatores como termotolerância dos frutos, transferência de calor, temperatura da água, tempo de exposição, tipos de microrganismos presentes nos frutos e da sua capacidade de proliferação, condições ambientais que irão prevalecer durante o armazenamento e estágio de maturação dos frutos (FALLIK, 2004; GERMER; MOURA, 1995; PAULL; CHEN, 2000). O tempo e a temperatura do tratamento podem variar de acordo com as condições ambientais antes da colheita (PAULL, 1995) e esta variação está associada com a resposta ao choque térmico (PAULL; CHEN, 1990). De modo geral, os efeitos do calor são mais efetivos para fungos e leveduras, pois estes não são termoresistentes. Já as bactérias podem ser sensíveis ou resistentes ao calor, devendo-se, portanto, criar condições ambientais inadequadas à multiplicação bacteriana (GELLI; GALLO, 2002 apud ESTELLES, 2003).

Há três métodos que podem ser empregados para o tratamento térmico de frutos: hidrotérmico, vapor aquecido e ar seco aquecido, além de sistemas com infravermelho e microondas. O controle de patógenos ocorre pelo fato de esporos e infecções quiescentes estarem presentes na superfície ou nas primeiras camadas celulares do fruto. Muitos frutos toleram temperaturas de 50 a 60 °C por até 10 minutos, mas exposições por tempos menores a essas temperaturas podem controlar muitos patógenos de pós-colheita (NEVES, 2009). Baixas concentrações de fungicidas podem ser aplicadas como complemento do tratamento hidrotérmico, permitindo, então, um controle mais efetivo com redução de resíduos (BARKAI-GOLAN, 2001).

O tratamento térmico tem inúmeras vantagens como baixo custo, uso relativamente simples, curto tempo de tratamento, permitindo o monitoramento da temperatura dos frutos e da água, eliminação de agentes causadores de podridões presentes na superfície do fruto (LURIE, 1998), é um processo livre de resíduos e que não oferece riscos à saúde humana e ao meio ambiente, podendo ser uma ferramenta do controle integrado de doenças (PESSOA et al., 2007). No entanto, este tratamento pode afetar a qualidade pós-colheita dos produtos hortícolas, por alterar os processos de amadurecimento, como produção de etileno, respiração, amaciamento, mudanças na degradação e/ou revelação de pigmentos, além de danos à integridade da membrana plasmática e alterações em componentes de sabor, teores de sólidos solúveis, acidez e compostos voláteis (PAULL; CHEN, 2000).

O controle das doenças pós-colheita em mamão é feito através de tratamento térmico combinado com fungicidas (NEVES, 2009), reduzindo, mas raramente eliminando, as infecções já estabelecidas (GLAZENER; COUEY; ALVAREZ, 1984). A imersão em água quente após tratamento com vapor quente a temperaturas entre 47 e 49 °C, durante 20 minutos, seguido imediatamente de outra imersão em água fria por igual período (MANICA; MARTINS; VENTURA, 2006), tem mostrado reduzir levemente as doenças de pós-colheita (NISHIJIMA et al., 1992), principalmente antracnose e varíola, eliminar a mosca das frutas e retirar o excesso de látex e resíduos de inseticidas e fungicidas remanescentes (NEVES, 2009). É importante que a temperatura não exceda o limite recomendado para não acelerar demasiadamente os processos metabólicos, evitando que o fruto tenha menor vida de prateleira (NEVES, 2009). Silva (1993) observou que o tratamento térmico a 49 °C por 20 minutos reduziu

significativamente a incidência das podridões de *Lasiodiplodia*, *Colletotrichum*, *Phoma* e *Rhizopus* em frutos de mamoeiro inoculados, com menor efeito sobre a incidência de *Fusarium*.

Kechinski et al. (2012) observaram que o tratamento térmico modificou a camada de cera natural dos mamões, sendo que quanto maior a temperatura, mais suave é a cera que cobre a epiderme. Os cristalóides são uma característica da camada de ceras que cobre os tecidos dos frutos. Assim, o tratamento térmico pode induzir a formação de cristalóides na superfície dos frutos, como resultado do estresse provocado pelo calor (MONTERO et al., 2010).

Shellie e Mangan (2000) demonstraram que um aquecimento menos severo é necessário quando os frutos são aquecidos na água porque a diminuição de O₂ e o aumento de CO₂ dentro do mamão durante a imersão em água quente pode impor um estresse adicional e alterar a tolerância da mosca das frutas ao aquecimento. Segundo Silva et al. (2003) frutos submetidos ao tratamento térmico apresentaram maior taxa de emissão de etileno e de CO₂ do que os frutos não tratados, diminuindo sua vida de pós colheita. No entanto, Simão (2004) afirmou que o uso de água fria depois do tratamento com água quente reverte parcialmente o efeito desta, aumentando a vida de prateleira do fruto.

Tratamento de frutos ou vegetais em altas temperaturas, se aplicado por razões de quarentena, controle de apodrecimento, ou para afetar a fisiologia do produto, terá efeitos profundos sobre o metabolismo do tecido (PALIYATH et al., 2008). Esses efeitos incluem aumento do metabolismo respiratório; produção de hormônios, principalmente etileno; mudanças nas atividades enzimáticas e na conformação de macromoléculas, incluindo agregação de proteínas em componentes de membrana, que pode aumentar o vazamento de íons (LURIE, 1998); expansão da cutícula, induzindo a formação de pequenas fissuras (SIMÃO, 2004); diminuição das ceras cuticulares, fazendo com que as aberturas naturais se fechem (ECKERT, EAKS, 1989); e outras mudanças que podem afetar a qualidade nutricional e sensorial de frutos e vegetais (LURIE, 1998). A duração do tratamento térmico irá afetar o amadurecimento ou a senescência de frutos e vegetais assim como os atributos nutricionais e de qualidade (PALIYATH et al., 2008).

Nos frutos climatéricos, a inibição do etileno pela alta temperatura pode inibir muitos processos do amadurecimento, incluindo firmeza dos frutos, mudanças de cor e desenvolvimento de aromas (PALIYATH et al., 2008). A síntese de etileno é inibida em temperaturas próximas ou superiores a 35 °C devido à inibição direta da atividade da enzima ACC oxidase e à síntese reduzida de novas enzimas (PALIYATH et al., 2008), como observado em maçãs (ROH et al., 1995) e em kiwi (ANTUNES; SFAKIOTAKIS, 2000), pois a abundância de mRNA da ACC oxidase é fortemente reprimida (LURIE et al., 1996).

A produção de voláteis e a síntese de licopeno foram inibidas em tomates imersos em água quente a 42 °C, sendo recuperadas após o tratamento, pois os tomates tratados amadureceram normalmente (McDONALD; McCOLLUM; BALDWIN, 1998). Morangos tratados com água quente por 15 minutos em temperaturas de 40 a 50 °C e depois mantidos a 20 °C tiveram atraso no desenvolvimento da cor e perda de firmeza reduzida comparados com os frutos não tratados (CIVELLO et al., 1997). O tratamento hidrotérmico de mamões a 49 °C por 20 minutos causou amaciamento dos frutos (OLIVEIRA, 1999) e sabor alterado durante o amadurecimento devido ao superaquecimento ou aquecimento desigual pela água quente (MOY, 1993). Segundo este mesmo autor, as variações nos estágios de colheita e no tamanho dos frutos fazem com que estes não sejam uniformemente aquecidos, apresentando textura irregular e perda de sabor.

A perda de firmeza está associada ao aumento das atividades das enzimas pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG) e β -galactosidase (β -Gal), que são diretamente alteradas com temperaturas elevadas. A PG

atua na região mais interna do mesocarpo, a PME e a β -Gal, na mais externa, e, portanto, o tipo de tratamento térmico pode ter relação com o amaciamento do fruto. Sendo assim, os tratamentos térmicos mais prolongados atingirão temperaturas altas em profundidade e estimularão por mais tempo as enzimas responsáveis pelo amaciamento (PIMENTEL; MARCONDES; WALDER, 2007). Arnoldi (2002) observou que as principais reações que podem ocorrer durante o tratamento térmico são a desnaturação de proteínas e enzimas, a oxidação lipídica, transformação de vitaminas, reações envolvendo aminoácidos e açúcares, entre outras.

O tratamento térmico com água quente a 45 °C por 10 minutos atrasa o amarelecimento, reduz a taxa de produção do etileno, inibe as enzimas promotoras da degradação da clorofila, clorofilase e peroxidase (FUNAMOTO; YAMAUCHI; SHIGYO, 2003), e reduz a perda de proteínas solúveis e de ácido ascórbico (TIAN et al., 1997) em brócolis. Em abacates 'Hass' verdes e amadurecidos, o tratamento hidrotérmico a 45 °C por 10 minutos foi efetivo na diminuição da atividade da polifenoloxidase na polpa dos frutos (DAIUTO; VIEITES, 2008). Entretanto, o tratamento com água quente não influencia a perda de massa (OLIVEIRA, 1999) e não provoca modificações no teor de sólidos solúveis, pH e acidez titulável (ALBERNAZ et al., 2003) de mamões.

O tratamento térmico pode causar danos como escaldadura superficial, observada em mangas (ORTEGA-ZALETA; YAHIA, 2000), mamões (MANICA; MARTINS; VENTURA, 2006) e maçãs (LURIE, 1998), depreciando-os comercialmente. Injúrias internas também podem ocorrer como resultado do tratamento térmico, algumas vezes na ausência de qualquer dano externo (PALIYATH et al., 2008). Danos internos podem aparecer em mamão como pobre desenvolvimento da cor, amaciamento anormal, ausência da quebra do amido e formação de cavidades internas (MITCHAM; McDONALD, 1993). Além disso, mamões submetidos ao tratamento térmico podem não amolecer e apresentar escurecimento da casca (HUNDTOFT; AKAMINE, 1971). No entanto, a utilização de tratamentos térmicos devidamente planejados e estudados pode minimizar as perdas nutricionais e manter as características sensoriais da polpa bem próximas às características naturais dos frutos (RIBEIRO, 2009).

Embora apresente alta eficiência no controle de podridões pós-colheita de diversos frutos, o tratamento térmico em combinação com outros métodos de controle, como fungicidas, ceras, refrigeração e/ou uso da atmosfera modificada, tem se mostrado mais eficiente do que quando aplicado isoladamente (PENTEADO; EBLEN; MILLER, 2004). A utilização de baixas temperaturas no armazenamento de frutos, juntamente com o tratamento hidrotérmico, tem permitido o comércio com mercados muito distantes. Nestas condições, ocorre redução na velocidade dos processos de amadurecimento e senescência, retardando as alterações de cor, perda de peso e de firmeza e as transformações bioquímicas (MOLINARI, 2007).

2.3. Armazenamento refrigerado

O armazenamento refrigerado representa a principal técnica utilizada para manutenção da qualidade e extensão do período de pós-colheita de frutos e hortaliças. A redução da temperatura e sua manutenção em níveis adequados após a colheita permitem a conservação da qualidade dos frutos, devido à desaceleração do metabolismo celular, retardando os processos de amadurecimento e senescência dos tecidos, o amaciamento, as mudanças na coloração e textura, as transformações metabólicas indesejáveis, a perda de massa e o crescimento microbiano (SESTARI, 2010). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o armazenamento refrigerado visa minimizar a intensidade dos processos metabólicos, através da utilização de condições ambientais externas adequadas, sem alterar os processos fisiológicos dos vegetais.

Entretanto, o armazenamento de frutos em temperaturas abaixo de seus limites fisiológicos pode ocasionar injúrias por frio, as quais estão associadas às desordens fisiológicas observadas nos tecidos das plantas, principalmente nas de origem tropical e subtropical. As injúrias de frio, também conhecidas como dano de frio, dano de “chilling” ou “chilling injury”, podem ocorrer em temperaturas inferiores a 15 °C e superiores a 0 °C (SESTARI, 2010), sendo que a manifestação dos sintomas de dano de frio em espécies de origem tropical ocorre quando o tecido é exposto a temperaturas próximas a 12 °C, e de espécies de origem subtropical em torno dos 8 °C (LYONS, 1973).

Estes distúrbios fisiológicos são definidos como alterações de origem não patogênica, decorrentes de modificações no metabolismo normal do fruto, ou na integridade estrutural de seus tecidos e são fontes importantes de perdas pós-colheita, pois levam à perda de qualidade por modificações no sabor e na aparência (KLUGE et al., 2002). Muitas vezes, os distúrbios apenas são perceptíveis com o prolongamento do armazenamento, ou quando os produtos são levados para condição de ambiente. A área de tecido afetada pela desordem é variável, e pode estar na casca, com manutenção da camada de polpa aderente intacta, em certas áreas da polpa, ou na parte central e interna do fruto. Os danos superficiais na casca são os mais prejudiciais, pois podem tornar o produto inaceitável, dependendo dos padrões estabelecidos pelo mercado, enquanto que defeitos internos, por serem menos visíveis, são os mais tolerados (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os mecanismos bioquímicos e fisiológicos responsáveis pelo aparecimento dos danos de frio estão relacionados com a atividade de enzimas específicas, que promovem a formação e escurecimento dos compostos fenólicos, como a fenilalanina amônia-liase, que participa da síntese “de novo” da lignina e de outros compostos fenólicos (DING et al., 2002); a peroxidase, que participa do processo de lignificação (ZHENG; LI; XI, 2000); e a polifenoloxidase que, juntamente com a peroxidase, participa da oxidação de compostos fenólicos, levando ao escurecimento dos tecidos (EDAGI et al., 2009). A incidência de escurecimento interno depende de fatores como época de colheita, condições de armazenagem, cultivar, práticas culturais, irrigação e manejo do solo (CRISOSTO et al., 1997).

De acordo com Kaniuga (2008), a resposta de plantas ao dano de frio é complexa e está baseada em dois processos metabólicos importantes: a degradação lipolítica de lipídios de membranas e um conjunto de reações oxidativas levando à peroxidação lipídica e dano às paredes celulares, envolvendo mecanismos enzimáticos como a atividade de peroxidases. Os distúrbios físicos causados por baixas temperaturas influenciam a atividade das enzimas ligadas às membranas, estimulam a produção de etileno, promovem aumento ou decréscimo na respiração, e induzem modificações marcantes no metabolismo de poliaminas e na produção de oxigênio reativo (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Além do efeito da baixa temperatura, as membranas celulares também podem ser desestabilizadas por meio da peroxidação lipídica mediada por enzimas ou pela ação direta de radicais livres (BERGER et al., 2001). Em espécies sensíveis ao frio, a baixa temperatura intensifica o estresse oxidativo dos tecidos por alterar o equilíbrio entre geração e remoção de radicais livres, como o radical superóxido e o peróxido de hidrogênio (ZHANG et al., 2005). Quando produzidas em excesso, essas espécies reativas de oxigênio podem ser potencialmente danosas ao metabolismo celular, pois agravam o estresse oxidativo promovendo a desestabilização das membranas biológicas, a inativação de enzimas associadas ao metabolismo energético e de enzimas relacionadas a importantes funções metabólicas (MAALEKUU et al., 2006).

Durante o processo de peroxidação lipídica, a degradação de ácidos graxos poli-insaturados como o linoleico e linolênico, que tem como subprodutos principais os íons peróxido e o malondialdeído, tem sido

amplamente utilizado como indicativo de estresse oxidativo (HODGES et al., 1999) e da integridade estrutural das membranas celulares de tecidos vegetais expostos a situações de estresse, a exemplo do dano de frio (POSMYK et al., 2005).

O tratamento térmico em água ou ar minimiza ou elimina sintomas de injúrias causadas pelo frio (WOOLF et al., 1997), pois induz resistência às lesões e danos externos na casca causados pela refrigeração durante o armazenamento (KLUGE et al., 2006). Woolf e Lay-Yee (1997), em trabalhos com abacates 'Hass' submetidos a um pré-tratamento em água a 38 °C por 120 minutos e em seguida imersos a 50 °C por 10 minutos, verificaram que os frutos apresentaram uma redução no escurecimento da casca após uma semana de armazenamento a 6 °C. Além disso, o pré-tratamento aumentou a tolerância dos frutos ao tratamento subsequente com água quente. Hofman et al. (2002) observaram que abacates 'Hass' imersos em água a 41 °C por 25 a 30 minutos ou 42 °C por 25 minutos e armazenados a 1 °C apresentaram melhor qualidade, diminuindo o escurecimento da casca e da polpa.

Referências

- ALBERNAZ, D. de F.; MIRANDA, S. de P.; FAGUNDES, G.R.; YAMANISHI, O.K. Efeito do tratamento hidrotérmico na qualidade e vida pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.), cv. Golden, produzido no Oeste da Bahia. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, San Jose, v. 47, p. 228-230, 2003.
- ANTUNES, M.D.C.; SFAKIOTAKIS, E.M. Effect of high temperature stress on ethylene biosynthesis, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 251-259, Nov. 2000.
- ARNOLDI, A. Thermal processing and nutritional quality. In: HENRY, C.J.K.; CHAPMAN, C. (Eds.). **The nutrition handbook for food processors**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 265-292.
- BARKAI-GOLAN, R. **Postharvest diseases of fruits and vegetables: development and control**. 1.ed. Amsterdam: Elsevier, 2001. 418 p.
- BENATO, E.A. Controle de doenças pós-colheita em frutas tropicais. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 90-93, 1999.
- BERGER, S.; WEICHERT, H.; PORZEL, A.; WASTERNAK, C., KÜHN, H.; FEUSSNER, I. Enzymatic and non-enzymatic lipid peroxidation in leaf development. **Biochimica et Biophysica Acta – Molecular and Cell Biology of Lipids**, Amsterdam, v. 1533, n. 3, p. 266-276, Oct. 2001.
- BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M.; ARDITO, E. de F.G.; CASTRO, J.V. de; SPAGNOL, W.A.; NEVES, L. de C.F. **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL, 1992. 203 p.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

- CIVELLO, P.M.; MARTÍNEZ, G.A.; CHAVES, A.R.; ANÓN, M.C. Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 12, p. 4589-4594, Dec. 1997.
- CRISOSTO, C.H.; JOHNSON, R.S.; DEJONG, T.; DAY, K.R. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 5, p. 820-823, Aug. 1997.
- DAIUTO, E.R.; VIEITES, R.L. Atividade da peroxidase e polifenoloxidase em abacate da variedade Hass, submetidos ao tratamento térmico. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 9, n. 2, p. 106-112, 2008.
- DING, C-K.; WANG, C.; GROSS, K.C.; SMITH, D.L. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. **Planta**, Berlin, v. 214, n. 6, p. 895-901, Apr. 2002.
- ECKERT, J.W.; EAKS, I.L. Postharvest disorders and diseases of citrus fruits. In: REUTHER, W.; CALAVAN, E.C.; CARMAN, G.E. (Eds.). **The citrus industry: biology of citrus insects, mites, and mollusks; chemical control; postharvest disorders and diseases; citrus replant problems; citrus research in California**. v. 5. Oakland: University of California Press, 1989. p. 179-260.
- EDAGI, F.K.; SESTARI, I.; SASAKI, F.F.; CABRAL, S.M.; MENEHINI, J.; KLUGE, R.A. Aumento do potencial de armazenamento refrigerado de nêspas 'Fukuhara' com o uso de tratamento térmico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1270-1276, out. 2009.
- ESTELLES, R.S. **Importância do controle da temperatura e do tratamento térmico na preservação dos nutrientes e da qualidade dos alimentos**. 2003. 32 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Especialista em Qualidade em Alimentos) – Centro de Excelência em Turismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- FALLIK, E. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, n.2, p.125-134, May 2004.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/e>. Acesso em: 19 de julho de 2016.
- FONTES, R.V.; SANTOS, M.P.; FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M. Atividade da pectinametilesterase e sua relação com a perda de firmeza da polpa de mamão cv. Sunrise Solo e Tainung. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 54-58, mar. 2008.
- FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 182 p.

- FUNAMOTO, Y.; YAMAUCHI, N.; SHIGYO, M. Involvement of peroxidase in chlorophyll degradation in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.) and inhibition of the activity by heat treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 39-46, Apr. 2003.
- GERMER, S.P.M.; MOURA, S.C.S.R. de. **Princípios de esterilização de alimentos**. 2. ed. Campinas: ITAL, 1995. 123 p.
- GLAZENER, J.A.; COUEY, H.M.; ALVAREZ, A. Effect of postharvest treatments on stemphylium rot of papaya. **Plant Disease**, St. Paul, v. 68, n. 11, p. 986-988, Nov. 1984.
- HODGES, D.M.; DELONG, J.M.; FORNEY, C.F.; PRANGE, R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta**, Berlin, v. 207, n. 4, p. 604-611, Feb. 1999.
- HOFMAN, P.J.; STUBBINGS, B.A.; ADKINS, M.F.; MEIBURG, G.F.; WOOLF, A.B. Hot water treatments improve 'Hass' avocado fruit quality after cold disinfestation. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 183-192, Mar. 2002.
- HUNDTOFT, E.B.; AKAMINE, E.K. Establishing the effects of post-harvest treatment on fresh market papayas by response surface methodology. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 343-352, Dec. 1971.
- JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R. de C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, abr/jun. 2002.
- KANIUGA, Z. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. **Plant Biology**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 171-184, Mar. 2008.
- KECHINSKI, C.P.; MONTERO, C.R.S.; GUIMARÃES, P.V.R.; NOREÑA, C.P.Z.; MARCZAK, L.D.F.; TESSARO, I.C.; BENDER, R.J. Effects of ozonized water and heat treatment on the papaya fruit epidermis. **Food and Bioproducts Processing**, Amsterdam, v. 90, n. 2, p. 118-122, Apr. 2012.
- KLUGE, R.A.; AZEVEDO, R.A. de; JOMORI, M.L.L.; EDAGI, F.K.; JACOMINO, A.P.; GAZIOLA, S.A.; DEL AGUILA, J.S. Efeitos de tratamentos térmicos aplicados sobre frutas cítricas armazenadas sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1388- 1396, set/out. 2006.
- KLUGE, R.A.; NACHTIGAL, J.C.; FACHINELLO, J.C.; BILHALVA, A.B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2. ed. Campinas: Editora Rural, 2002. 214 p.
- LUÍZ, R.C.; HIRATA, T.A.M.; CLEMENTE, E. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxidase de abacate (*Persea americana* Mill.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1766-1773, nov/dez. 2007.

- LURIE, S. Postharvest heat treatments of horticultural crops. In: JANICK, J. (Ed.). **Horticultural Reviews**. Oxford: John Wiley & Sons, 1998. v. 22, p. 91-121.
- LURIE, S.; HANDROS, A.; FALLIK, E.; SHAPIRA, R. Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. **Plant Physiology**, Rockville, v. 110, n. 4, p.1207-1214, Apr. 1996.
- LYONS, J.M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 445-466, Jun. 1973.
- MAALEKUU, K.; ELKIND, Y.; LEIKIN-FRENKEL, A.; LURIE, S.; FALLIK, E. The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 248-255, Dec. 2006.
- MANICA, I.; MARTINS, D. dos S.; VENTURA, J.A. **Mamão: tecnologia de produção, pós-colheita, exportação e mercados**. Porto Alegre: Cinco continentes, 2006. 361 p.
- McDONALD, R.E.; McCOLLUM, T.G.; BALDWIN, E.A. Heat treatment of mature-green tomatoes: differential effects of ethylene and partial ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 3, p. 457-462, May 1998.
- MITCHAM, E.J.; McDONALD, R.E. Respiration rate, internal atmosphere, and ethanol and acetaldehyde accumulation in heat-treated mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 3, n. 1, p. 77-86, Jul. 1993.
- MOLINARI, A.C.F. **Métodos combinados para preservar a qualidade pós-colheita do mamão 'Golden' tipo exportação**. 2007. 64 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- MONTERO, C.R.S.; ANTES, R.B.; SANTOS, R.P. dos; SANTOS, L.C. dos; ANDREAZZA, C.S.; BENDER, R.J. Alterações na cutícula de maçãs 'Fuji' e 'Gala' em função do tratamento térmico e da armazenagem refrigerada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 441-447, jul/set. 2010.
- MOY, J.H. Efficacy of irradiation vs thermal methods as quarantine treatments for tropical fruits. **Radiation Physics and Chemistry**, Amsterdam, v. 42, n. 1-3, p. 269-272, Jul/Sep. 1993.
- NEVES, L.C. **Manual pós-colheita da fruticultura brasileira**. Londrina: EDUEL, 2009, 494 p.
- NISHIJIMA, K.A.; MIURA, C.K.; ARMSTRONG, J.W.; BROWN, S.A.; HU, B.K.S. Effect of forced, hot-air treatment of papaya fruit on fruit quality and incidence of postharvest diseases. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 7, p. 723-727, Jul. 1992.

- OLIVEIRA, F.A.M.B. **Comportamento térmico e qualidade pós-colheita do mamão submetido a radiação de microondas e a hidrotermia**. 1999. 51 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- ORTEGA-ZALETA, D.; YAHIA, E.M. Tolerance and quality of mango fruit exposed to controlled atmospheres at high temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, n. 2, p. 195-201, Sep. 2000.
- PALIYATH, G.; MURR, D.P.; HANDA, A.K.; LURIE, S. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers**. Iowa: Wiley-Blackwell, 2008. 498 p.
- PAULL, R.E. Preharvest factors and the heat sensitivity of field-grown ripening papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, n. 1-2, p. 167-175, Jun. 1995.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 4, p. 623-631, Jul. 1990.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat treatment and fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 21-37, Dec. 2000.
- PENTEADO, A.L.; EBLEN, B.S.; MILLER, A.J. Evidence of *Salmonella* internalization into fresh mangos during simulated postharvest insect disinfestation procedures. **Journal of Food Protection**, Oxford, v. 67, n. 1, p. 181-184, Jan. 2004.
- PESSOA, W.R.L.S.; LOPES, A.L.; COSTA, V.S.O.; OLIVEIRA, S.M.A. de. Efeito do tratamento hidrotérmico associado a indutores de resistência no manejo da antracnose da goiaba em pós-colheita. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 3, p. 129-135, jul/set. 2007.
- PIMENTEL, R.M. de A.; MARCONDES, Y.E. de M.; WALDER, J.M.M. Qualidade do mamão cv. Solo submetido ao choque térmico e tratamento quarentenário por radiação gama. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 483-487, dez. 2007.
- POSMYK, M.M.; BAILLY, C.; SZAFRANSKA, K.; JANAS, K.M.; CORBINEAU, F. Antioxidant enzymes and isoflavonoids in chilled soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seedlings. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 162, n. 4, p. 403-412, Apr. 2005.
- RIBEIRO, M.L. **Efeito do processamento térmico nas características físico-químicas, nutricionais, microbiológicas e na atividade enzimática de polpa de mamão Formosa (*Carica papaya* L.)**. 2009. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

- ROH, K.A.; LEE, B.M.; LEE, D.C.; PARK, M.E. Effects of temperature on ethylene biosynthesis of apples. **Journal of Agriculture, Science and Farm Management**, v. 37, p. 696-700, 1995.
- SESTARI, I. **Indução de tolerância de frutos às injúrias de frio: aspectos fisiológicos e bioquímicos**. 2010. 142 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- SHELLIE, K.C.; MANGAN, R.L. Postharvest disinfestation heat treatments: response of fruit and fruit fly larvae to different heating media. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 51-60, Dec. 2000.
- SILVA, E.A.B.R. **Termossensibilidade de fungos causadores de podridões pós-colheita em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.)**. 1993. 124 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Paulista, Botucatu, 1993.
- SILVA, M.G. da; SANTOS, E.O.; STHEL, M.S.; CARDOSO, S.L.; CAVALLI, A.; MONTEIRO, A.R.; OLIVEIRA, J.G. de; PEREIRA, M.G.; VARGAS, H. Effect of heat treatment on ethylene and CO₂ emissions rates during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. **Review of Scientific Instruments**, Melville, v. 74, n. 1, p. 703-705, 2003.
- SIMÃO, S. **Manga**. Piracicaba: Editora FEALQ, 2004. 270 p.
- TIAN, M.S.; ISLAM, T.; STEVENSON, D.G.; IRVING, D.E. Color, ethylene production, respiration, and compositional changes in broccoli dipped in hot water. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, p. 112-116, Jan. 1997.
- TREICHEL, M.; KIST, B.B.; SANTOS, C.E. dos, CARVALHO, C. de; BELING, R.R. **Anuário Brasileiro de Fruticultura**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2016. 88 p.
- VENTURA, J.A.; COSTA, H. Controle de doenças em pós-colheita no mamão: estágio atual e perspectivas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 28, n. 2, p. 137-138, 2002.
- WOOLF, A.B.; BALL, S.; SPOONER, K.J.; LAY-YEE, M.; FERGUSON, I.B.; WATKINS, C.B.; GUNSON, A.; FORBES, S.K. Reduction of chilling injury in the sweet persimmon ‘Fuyu’ during storage by dry air heat treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 155-164, Jul. 1997.
- WOOLF, A.B.; LAY-YEE, M. Pretreatments at 38 °C of ‘Hass’ avocado confer thermotolerance to 50 °C hot water treatments. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 705-708, Jul. 1997.
- ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VENTURA, J.A.; VALE, F.X.R. Controle de doenças pós-colheita de frutas tropicais. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado: fruteiras tropicais – doenças e pragas**. Viçosa: UFV, 2002. p. 443-511.

ZHANG, J.; HUANG, W.; PAN, Q.; LIU, Y. Improvement of chilling tolerance and accumulation of heat shock proteins in grape berries (*Vitis vinifera* cv. Jingxiu) by heat pretreatment. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 80-90, Oct. 2005.

ZHENG, Y.H.; LI, S.Y.; XI, Y.F. Changes of cell wall substances in relation to flesh woodiness in cold stored loquat fruits. **Acta Phytophysiologica Sinica**, Ontario, v. 26, n. 4, p. 306-310, 2000.

3. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM MAMÕES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO QUARENTENÁRIO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a fisiologia, bioquímica e conservação do mamão submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário e armazenamento refrigerado. Mamões 'Golden' no estágio de maturação 1 foram divididos em dois lotes, sendo um submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, seguida de imersão em água fria a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por igual período e o outro lote utilizado como controle (sem tratamento hidrotérmico). Parte dos frutos foi armazenada a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85\text{ } \pm 5\%$ de UR durante 7 dias e parte a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85\text{ } \pm 5\%$ de UR durante 20 dias, seguido de armazenamento a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85\text{ } \pm 5\%$ de UR durante 3 dias. Os mamões foram avaliados quanto à atividade respiratória, produção de etileno, perda de massa fresca, peroxidação lipídica, atividade enzimática, incidência de podridões, murchamento, injúria por frio e teor de ácido ascórbico. O delineamento experimental foi esquema fatorial e os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias a 5% de probabilidade. As atividades das enzimas POD, PPO e ACC oxidase aumentaram ou diminuíram ao longo dos períodos de armazenamento e dos tratamentos aplicados. O aumento da peroxidação lipídica está associado ao incremento da taxa respiratória, sendo que mamões submetidos ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura refrigerada tiveram menos efeito da peroxidação. O tratamento hidrotérmico, associado ao armazenamento refrigerado, reduziu a taxa respiratória e a produção de etileno, consequentemente ocorreram menores perdas de massa fresca acumulada, incidência de podridões e teor de ácido ascórbico nos mamões. Quando transferidos da condição refrigerada para a temperatura ambiente, os mamões submetidos ao tratamento térmico se mostraram mais resistentes às mudanças relacionadas ao amadurecimento, pois apresentaram menores taxas respiratórias, produção de etileno e incidência de podridões. Isto comprova a importância desses dois tratamentos na pós-colheita de mamões, permitindo um aumento no período de comercialização desses frutos.

Palavras-chaves: *Carica papaya* L.; Atividade enzimática; Etileno; Refrigeração; Taxa respiratória

Abstract

The objective of this work was to study the physiology, biochemistry and conservation of papaya subjected to hydrothermal quarantine treatment and cold storage. Soil group papayas, Golden range in maturity stage 1 were selected for the absence of mechanical injuries and maturity stage and divided into two lots. A batch of fruit has been subjected to hydrothermal quarantine treatment at $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 minutes, followed by immersion in cold water at $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the same period and another batch of fruit used as a control (no hydrothermal treatment). Some of the fruit was stored in a chamber at $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of 85% for 7 days and part in a chamber at $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of 85% for 20 days, followed by storage at $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of 85% for 3 days. The papayas were evaluated for respiratory rate, ethylene production, loss of weight, lipid peroxidation, enzyme activity, incidence of rot, shriveling, chilling injury and ascorbic acid content. The experimental design was factorial and the results were submitted to analysis of variance and mean comparison test at 5% probability. The activities of enzymes POD, PPO and ACC oxidase increased or decreased over the storage periods and treatments applied. Increased lipid peroxidation is associated with increased respiratory rate, and papayas submitted to hydrothermal treatment and stored at refrigerated temperature had less effect of peroxidation. The hydrothermal treatment associated with cold storage, reduced respiratory rate and ethylene production, therefore there were fewer losses accumulated fresh weight, incidence of decay and ascorbic acid content in papayas. When transferred from the refrigerated condition to room temperature, the papayas subjected to heat treatment were more resistant to changes related to maturation, as had lower respiration rates, ethylene production and incidence of rottenness. This proves the importance of these two treatments in post-harvest papayas, allowing an increase in the trading period of the fruit.

Keywords: *Carica papaya* L.; Enzymatic activity; Ethylene; Refrigeration; Respiratory rate

3.1. Introdução

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma das frutas mais cultivadas do mundo, especialmente em áreas tropicais, onde a temperatura média anual é de 25 °C (GALEANO; MARTINS, 2015). É um fruto climatérico cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente após a colheita, desencadeadas pela produção de etileno e aumento da taxa respiratória, tornando-o bastante perecível em pós-colheita (PAULL, 1993). Devido a essa alta perecibilidade, o controle do amadurecimento é fundamental para o aumento da vida de prateleira, visando os mercados interno e externo (JACOMINO et al., 2002).

Os principais fatores que depreciam a qualidade do mamão após a colheita são o rápido amaciamento e a elevada incidência de podridões. A preservação desse fruto em temperatura ambiente é desejável, uma vez que a sua comercialização no Brasil encontra-se quase totalmente sem refrigeração. A manutenção da qualidade nesta condição pode facilitar o transporte a longas distâncias e ampliar o período de comercialização (JACOMINO et al., 2002).

O amadurecimento do mamão pode ser retardado pelo uso de inibidores da produção e ação do etileno (ABDI et al., 1998), como o gás 1-metilciclopropeno (1-MCP), e/ou pela aplicação de métodos físicos. Os métodos físicos, a exemplo do tratamento hidrotérmico e da refrigeração, podem ser usados no controle de doenças em pós-colheita, atuando diretamente sobre os patógenos, e indiretamente sobre a fisiologia do fruto, retardando os processos bioquímicos de amadurecimento e senescência, reduzindo a taxa respiratória e a transpiração, mantendo a resistência do fruto ao ataque de microrganismos (TERAO et al., 2003).

O tratamento hidrotérmico quarentenário é utilizado para eliminação de ovos e/ou larvas de mosca-das-frutas e controle de microrganismos fitopatogênicos em frutos (LURIE, 1998). No entanto, esta técnica pode afetar a qualidade pós-colheita dos produtos hortícolas, causando alterações nos processos do amadurecimento, como produção de etileno e respiração, e danos à integridade da membrana plasmática (PAULL; CHEN, 2000).

A refrigeração constitui a principal estratégia empregada para estender a vida de prateleira de frutos após a colheita, suprimindo ou retardando o desenvolvimento de patógenos (BENATO, 2001). A temperatura mínima para o armazenamento do mamão é determinada pela sua suscetibilidade à injúria ao frio (ALMEIDA et al., 2005). Temperaturas compreendidas entre 9 e 12 °C são as mais utilizadas para o seu armazenamento, dependendo do estágio de maturação, cultivar e condições ambientais de produção (CHEN; PAULL, 1986).

O uso desta tecnologia é limitado para grande parte dos frutos de origem tropical, que não toleram temperaturas inferiores a 10 °C. O estresse desencadeado pelo frio pode ocasionar alterações no metabolismo normal dos frutos, as quais são traduzidas em acréscimos na atividade respiratória, na síntese de etileno e no decréscimo da funcionalidade das membranas celulares (WANG, 1982), em lesões de superfície (escurecimento, áreas afundadas, despigmentação), exsudação da polpa, inibição do amadurecimento, aceleração da senescência, aumento e suscetibilidade à contaminação (MORRIS, 1982). O aparecimento desses danos deprecia a qualidade e resulta em sérias implicações à comercialização e aceitação dos frutos pelos consumidores (EDAGI et al., 2011). Acredita-se que o dano às membranas seja o evento inicial no desenvolvimento das injúrias de frio (MARANGONI; PALMA; STANLEY, 1996) e que os sintomas decorrem da geração de espécies reativas de oxigênio em níveis acima da capacidade de remoção pelos tecidos (SALA, 1998).

O escurecimento que ocorre em frutas e hortaliças quando os tecidos são danificados ou expostos a condições anormais é devido principalmente a oxidações enzimáticas (MATHEW; PARPIA, 1971), como da

polifenoloxidase e peroxidase, alterando a aparência, o sabor e o valor nutritivo dos produtos. O calor é o método mais utilizado para inativação dessas enzimas (SILVA; NOGUEIRA, 1983). No entanto, a proteína desnaturada, após certo tempo, pode se reorganizar parcialmente através de pontes de hidrogênio e ligações dissulfeto, recuperando, assim, sua atividade (WANG; DIMARCO, 1972).

Palta (1990) e Stanley e Parkin (1991) têm sugerido que a deterioração de frutos, hortaliças, sementes e outros materiais vegetais, tanto por senescência natural quanto por envelhecimento devido a danos fisiológicos, partilha um mecanismo comum. O foco desse processo é pensado ser alterações nas características físicas e químicas das membranas que, por sua vez, levam a transformações no metabolismo celular e morte acelerada (LEVITT, 1980).

Apesar da comprovada eficiência do tratamento térmico e da refrigeração sobre a conservação de frutos, mamões submetidos a esses tratamentos podem apresentar alterações nos processos de amadurecimento e senescência, que depreciam a qualidade dos frutos. Os efeitos desses tratamentos têm sido tema de estudos, mas pouco enfoque está sendo dado aos frutos de espécies tropicais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a fisiologia, bioquímica e conservação do mamão após a aplicação do tratamento hidrotérmico quarentenário e do armazenamento refrigerado.

3.2. Material e Métodos

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, em Piracicaba-SP.

Mamões (*Carica papaya* L.) do grupo Solo, variedade Golden, no estágio de maturação 1, tomando-se como base a coloração da casca (até 15% com cor amarela) (Figura1), foram colhidos em pomares comerciais localizados no Espírito Santo. Estes frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias mecânicas e estágio de maturação. Posteriormente, os mamões foram pulverizados com fungicida, embalados e transportados ao laboratório, sendo que o tempo entre a colheita e o tratamento térmico foi de quatro dias. No laboratório houve nova seleção, descartando frutos fora do padrão (presença de defeitos e com coloração desuniforme), visando à homogeneização do lote.

Figura 1. Mamões do grupo Solo, variedade Golden, no estágio de maturação 1 (até 15% da cor da casca amarela).

Os mamões foram divididos em dois lotes de 318 frutos, sendo um lote submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário e o outro lote utilizado como controle (sem tratamento hidrotérmico). O tratamento

hidrotérmico consistiu na imersão dos frutos em água quente a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, seguida de imersão em água fria a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por igual período (TATAGIBA; OLIVEIRA, 2000). O tratamento com água quente foi realizado em banho térmico, marca Tecnal, com circulação de água e display digital para monitoramento da temperatura (Figura 2). Já o tratamento com água fria foi realizado em caixa de polietileno com capacidade de 50 L, adicionando-se gelo e água fria conforme a necessidade para manter a temperatura estável, sendo esta monitorada com termômetro de mercúrio. A água utilizada era destilada, sem adição de cloro ou qualquer outro produto químico.

Figura 2. Imersão de mamões ‘Golden’ em água quente a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, realizada em banho térmico, marca Tecnal, com circulação de água e display digital.

Os frutos de ambos os tratamentos (com e sem tratamento hidrotérmico) foram submetidos a dois regimes de armazenamento, sendo:

- **Armazenamento em temperatura ambiente:** os frutos foram armazenados em câmara a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 7 dias. Os mamões foram avaliados todos os dias quanto à atividade respiratória, produção de etileno, perda de massa fresca, peroxidação lipídica, atividade enzimática e incidência de podridões. Os frutos também foram avaliados quanto ao teor de ácido ascórbico em dias alternados.
- **Armazenamento refrigerado:** os frutos foram armazenados em câmara a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 20 dias, seguido de armazenamento a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 3 dias. Durante o armazenamento a $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, os mamões foram avaliados a cada quatro dias quanto à atividade respiratória, produção de etileno, perda de massa fresca, peroxidação lipídica, atividade enzimática, incidência de podridões, murchamento e injúria por frio. Após transferência para temperatura ambiente foram avaliados, todos os dias, os mesmos parâmetros citados anteriormente, além do teor de ácido ascórbico.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×8 (2 tratamentos $\times$ 8 dias de avaliação), para o armazenamento em temperatura ambiente, e 2×9 (2 tratamentos $\times$ 9 dias de avaliação),

para o armazenamento refrigerado, com 12 repetições de um fruto. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias (teste de Tukey) a 5% de probabilidade.

Para determinação da atividade respiratória e da produção de etileno, mamões foram acondicionados em frascos herméticos com capacidade de 1700 mL, previamente expostos às condições de temperatura e umidade do experimento. Os frascos foram fechados periodicamente e, ao final de 60 minutos, foram coletadas amostras de 1 mL de gás do interior dos mesmos, através de um septo de silicone presente na tampa de cada frasco, com auxílio de uma seringa comum de 1 mL, marca Injex. Essas amostras foram injetadas em cromatógrafo a gás, modelo Trace GC 2000, marca ThermoScience, com 2 injetores, 2 detectores de ionização de chama (FID) e 2 colunas “Porapak N”, uma delas com 1,8 metros para amostras de etileno e outra com 4 metros para amostras de CO₂. O gás de arraste utilizado nestas análises foi o hidrogênio, a um fluxo constante de 27 mL min⁻¹ para determinação do CO₂, e nitrogênio, a um fluxo também constante de 30 mL min⁻¹ para determinação de etileno. As temperaturas mantidas no aparelho foram de 140 °C na coluna, 120 °C no injetor, 250 °C no detector e 350 °C no metanador. Foram utilizados gases padrões de CO₂ e etileno para elaboração das curvas padrões. O tempo de corrida para CO₂ foi de 2 minutos e para etileno de 1 minuto, aproximadamente. A atividade respiratória e a produção de etileno foram calculadas com base nos resultados obtidos nas determinações cromatográficas, massa dos frutos, volume do frasco e tempo que os frascos permaneceram fechados (60 minutos). A concentração inicial de CO₂ dentro dos frascos foi medida assim que os mesmos foram fechados, e o resultado foi descontado da concentração final para o cálculo da atividade respiratória, sendo expressa em mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Os resultados referentes à produção de etileno foram expressos em µL de C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹.

A perda de massa fresca acumulada foi determinada pela diferença entre a massa do fruto no dia da avaliação e a massa inicial, em balança semi-analítica, com precisão de 0,01 g. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de perda de massa fresca acumulada.

A peroxidação de lipídios foi avaliada através da produção de metabólitos reativos ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBA), principalmente o malondialdeído (MDA) (MIHARA; UCHIYAMA; FUKUZAWA, 1980). Para tanto, porções retangulares de polpa, compostas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo de aproximadamente 1,0 g, previamente armazenadas em freezer -80 °C, foram pulverizadas com moinho, marca IKA, na presença de N₂ líquido e homogeneizadas em 4,5 mL de uma solução de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1% juntamente com 20% de polivinilpolipirrolidona (PVPP). Depois de perfeita homogeneização, 1,4 mL dessa amostra foi centrifugada a 12.100 g por 5 minutos. Do sobrenadante, foi retirado 250 µL ao qual foi adicionado 1 mL de TCA 20% e TBA 0,5%. A mistura foi colocada em banho-maria por 30 minutos, a 95 °C e resfriada em gelo, na sequência. Posteriormente, a amostra foi centrifugada novamente por 10 minutos a 12.100 g, em temperatura ambiente, com o objetivo de separar resíduos que permaneceram ou se formaram durante o aquecimento. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro marca Biochrom, modelo Libra S22, a 535 e 600 nm. A quantidade de MDA foi expressa em mM de MDA g⁻¹ de tecido fresco, usando um coeficiente de extinção da reação de 155 mM cm⁻¹.

A atividade da enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACC oxidase) foi quantificada de acordo com a metodologia proposta por Moya-León e John (1994) com algumas modificações. Porções retangulares de polpa, compostas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo de, aproximadamente, 10 g, foram previamente congeladas em freezer -80 °C e pulverizadas em moinho, marca IKA, com N₂ líquido. Aproximadamente 1 g do tecido pulverizado foi homogeneizado em tampão de extração contendo Tris (hidroximetil) aminometano (Tris-HCl) 100 mM pH 7,5; ditiotreitól (DTT) 5 mM; glicerol 10% (v/v); ascorbato de sódio 30 mM e polivinilpolipirrolidona (PVPP) 4% (p/v). O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 g por 30

minutos a 4 °C. O ensaio foi realizado incubando-se 1 mL do sobrenadante, que continha a enzima (extrato enzimático) com 2 mL de uma solução tampão reativa contendo tricina 0,1 M pH 7,5; sulfato de ferro (Fe_2SO_4) 0,1 mM; ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) 1 mM; bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 20 mM e ascorbato de sódio 30 mM. Após a incubação da solução a 30 °C por 30 minutos em frascos herméticos, com tampa de borracha, a concentração de etileno presente no *headspace* dos frascos foi determinada através da coleta de 1 mL do gás com auxílio de uma seringa comum de 1 mL, marca Injex. As amostras foram injetadas e analisadas para etileno em cromatógrafo a gás, com as mesmas especificações descritas anteriormente. A atividade da ACC oxidase foi expressa em ppm de C_2H_4 .

As atividades das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) foram determinadas através de porções retangulares da polpa, compostas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo de, aproximadamente 10 g, previamente armazenadas em freezer a -80 °C, pulverizadas com moinho, marca IKA, na presença de N_2 líquido e homogeneizadas durante 1 minuto em solução tampão fosfato de potássio 0,2 M, pH 6,7. Em seguida, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm por 10 minutos a uma temperatura de 4 °C (ALLAIN et al., 1974). Para a determinação da atividade da enzima PPO foi utilizado o método de Teixeira et al. (2007), onde 0,5 mL do homogeneizado foi misturado com 0,5 mL de uma solução contendo fenol e amino antipirina e 0,5 mL do tampão fosfato de potássio, pH 6,7. A atividade da POD foi determinada pelo método de Lima, Brasil e Oliveira (1999), onde 0,5 mL do extrato inicial foi homogeneizado com 0,5 mL de uma solução contendo peróxido de hidrogênio e tampão fosfato de potássio, pH 6,7, 0,5 mL de uma solução contendo fenol e amino antipirina e 0,5 mL do tampão fosfato, pH 6,7. Em seguida, para ambas as enzimas, a mistura ficou em banho-maria a 30 °C por 5 minutos. Após esse período, adicionou-se 2 mL de álcool etílico a 95% na mistura e realizou-se as leituras em espectrofotômetro marca Biochrom, modelo Libra S22, a 420 nm para a PPO e a 505 nm para a POD. Os resultados foram expressos em μmol de fenol degradado $\text{minuto}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de tecido fresco, para a enzima PPO, e em μmol de H_2O_2 degradado $\text{minuto}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de tecido fresco, para a enzima POD.

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulometria, através da redução do 2,6-diclorofenol-indofenol sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico, que tem forte ação redutora. O DCFI em meios básico e neutro é azul, em meio ácido é rosa e na forma reduzida é incolor. O ponto de viragem foi determinado pela mudança de cor, de incolor para rosa, quando todo ácido ascórbico foi oxidado pelo DCFI (CARVALHO et al., 1990). Sendo assim, 5 g da polpa dos mamões foram diluídos em 25 mL de ácido oxálico 1%. A solução padrão foi obtida com 5 mL de ácido ascórbico e 25 mL de ácido oxálico 1%. A titulação foi feita com solução de DCFI até coloração rosada persistente das misturas por 15 segundos e os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} de polpa.

A incidência de podridões foi avaliada visualmente contando-se o número de lesões com diâmetro superior a 0,5 cm. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de frutos com podridão.

A incidência de murchamento foi avaliada visualmente contando-se o número de frutos com presença de murchamento, segundo a escala de notas, sendo 0 = frutos túrgidos, sem murchamento; 1 = frutos levemente murchos; e 2 = frutos com murchamento severo. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de frutos com murchamento. Esta avaliação foi realizada somente nos frutos submetidos ao armazenamento refrigerado.

A injúria por frio foi avaliada visualmente quanto à ocorrência de depressões superficiais na casca e de escurecimento na polpa de mamões, utilizando uma escala de notas, onde 5 = severo (mais de 50% da superfície e da polpa injuriadas); 4 = moderado (25 a 50%); 3 = brando (até 25%); 2 = leve (2 a 5%); 1 = sem sintomas visíveis de injúria (WHANGCHAI et al., 2000). Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de frutos injuriados. Esta avaliação foi realizada somente nos frutos submetidos ao armazenamento refrigerado.

3.3. Resultados e Discussão

Mamões tratados e não tratados, armazenados em temperatura ambiente, apresentaram comportamentos semelhantes em termos de respiração e produção de etileno, sendo que nos não tratados os valores produzidos foram maiores do que nos tratados, na maioria dos dias avaliados. Frutos tratados e não tratados produziram, respectivamente, 3,0 e 6,2 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de etileno e 27,2 e 33,3 $\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de CO_2 (Figura 3). Durante o armazenamento refrigerado, a produção de etileno e a taxa respiratória foram baixas, aumentando, significativamente ($P \leq 0,05$), quando os mamões foram transferidos para a temperatura ambiente, demonstrando o efeito da refrigeração sobre o metabolismo dos frutos. Novamente, mamões tratados e não tratados apresentaram comportamentos semelhantes em termos de respiração e produção de etileno, sendo os maiores valores registrados para os frutos não tratados (Figura 3).

Figura 3. Atividade respiratória e produção de etileno em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A e B) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (C e D), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

De acordo com Souza et al. (2014) os picos de produção máxima de etileno e de respiração em mamões ‘Golden’ armazenados a 25 °C foram de 2,6 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de etileno e de 27,4 $\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de CO_2 , respectivamente, valores estes que coincidem com os apresentados neste trabalho para os frutos tratados termicamente. Ainda segundo estes mesmos autores a produção de etileno e a respiração apresentaram comportamentos semelhantes durante o armazenamento dos frutos, o que também foi observado para os mamões tratados e não tratados em estudo.

No entanto, segundo Silva et al. (2003), a produção de etileno foi maior em mamões submetidos ao tratamento térmico do que nos não tratados, contrariando o demonstrado neste estudo. Isso mostra como a resposta do fruto ao tratamento térmico é variável, pois não há pesquisas indicando como o calor, um sinal físico, é percebido pelos tecidos do fruto e transformado em sinais químicos que finalmente levam às mudanças no amadurecimento e nas respostas de defesa. De acordo com Zhu et al. (2011) o tratamento térmico como um sinal físico pode ser sentido pelas bananas através da inibição da expressão do gene receptor de etileno do mesmo modo que o etileno é percebido, mas não se sabe se esta percepção ocorre de forma semelhante para o mamão. Segundo Yang et al. (2013), o mecanismo de ação do etileno consiste na sua ligação a uma molécula receptora localizada na membrana do retículo endoplasmático que, por meio de fosforilação, desencadeia uma cascata de transdução de sinais até a ativação de genes codificadores de enzimas, que mediam as alterações físicas e bioquímicas que acompanham o processo de amadurecimento dos frutos.

Conforme mostrado neste trabalho, baixas temperaturas de armazenamento têm um efeito direto na taxa respiratória e na produção de etileno de mamões, pois reduz o aumento climatérico do CO₂ e do etileno que ocorre com o amadurecimento. Segundo Sivakumar e Wall (2013), múltiplas enzimas envolvidas na síntese de etileno, carboidratos, ácidos orgânicos, carotenoides e compostos voláteis são inibidas em baixas temperaturas e, consequentemente, as mudanças de cor, textura, sabor e aroma, relacionadas ao amadurecimento, são retardadas.

Vieites, Daiuto e Fumes (2012) afirmaram que todo e qualquer processo respiratório é de natureza degradativa, tendo como função primordial a produção de energia e de metabólitos intermediários. Manolopoulou e Papadopoulou (1998) verificaram que a intensidade da respiração está relacionada com a capacidade de armazenamento do fruto e que, quanto maior a taxa respiratória, menor é o tempo de armazenamento. Diante disso, o tratamento hidrotérmico dos mamões se torna um processo indispensável para a comercialização pós-colheita desses frutos, pois reduz a produção de etileno e a taxa respiratória, principalmente quando está associado ao armazenamento refrigerado, conforme observado neste trabalho.

Donadon et al. (2012), estudando abacates, observaram um incremento na atividade respiratória após transferência dos frutos do armazenamento refrigerado para o ambiente. Isso também foi observado para os mamões deste trabalho, sendo que os frutos tratados termicamente apresentaram menores valores de respiração e produção de etileno. Esse fato vem mais uma vez reforçar a importância do tratamento hidrotérmico quarentenário durante a pós-colheita do mamão por possibilitar o transporte dos frutos a longa distância (PAULA; ISEPON; CORRÊA, 2007) e por aumentar o tempo para a comercialização (NEVES; RODRIGUES; VIEITES, 2002), suportando os longos períodos de aduana nas exportações, tendo em vista a precariedade da manutenção dos contêineres refrigerados nos portos e o elevado custo da refrigeração, principalmente em função da demurrage.

A atividade da enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACC oxidase) foi maior nos mamões não tratados termicamente quando estes foram armazenados em temperatura ambiente (Figura 4A). Durante o armazenamento refrigerado, os mamões apresentaram um pico de atividade da ACC oxidase no primeiro dia de avaliação, sendo que este pico foi mais evidente nos frutos tratados termicamente. Quando os mamões foram transferidos da refrigeração para o armazenamento ambiente, observamos novamente a formação de um pico de atividade da ACC oxidase. No entanto, este pico ocorreu no 21º dia para os frutos não tratados e no 22º dia para os tratados (Figura 4B).

Zhu et al. (2011) demonstraram que a expressão do gene da enzima ACC oxidase oscilou entre picos de maior e menor expressão em bananas tratadas e não tratadas termicamente. Segundo SONG et al. (2005), a expressão dos genes da ACC oxidase pode ser regulada por fatores ambientais, de desenvolvimento ou específicos

do tecido dos frutos. Esse fato poderia explicar o resultado encontrado neste trabalho, pois, apesar de controlar a umidade e temperatura durante a condução dos experimentos, os mamões poderiam se encontrar em estádios de desenvolvimento diferentes, uma vez que a caracterização dos frutos foi feita de forma visual.

Figura 4. Atividade da enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACC Oxidase) em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

O armazenamento refrigerado não inibiu a enzima ACC oxidase nos mamões (Figura 4B), pois se observa incrementos na atividade enzimática durante todo o período analisado, culminando com a produção de etileno quando os frutos foram transferidos para a temperatura ambiente (Figura 3D). Villalobos-Acuña et al. (2011) verificaram que a exposição de peras europeias a baixas temperaturas induziu a formação das enzimas ACC oxidase e ACC sintase, ocasionando aumento da biossíntese de etileno e proporcionando o amadurecimento normal dos frutos, após exposição à temperatura ambiente. Provavelmente esse mecanismo seja o mesmo para o mamão.

A enzima ACC oxidase atingiu valores máximos de atividade de 0,8 e 0,6 ppm de etileno nos mamões não tratados e tratados, respectivamente, armazenados sob refrigeração (Figura 4B). Weber et al. (2012) mostraram que, em maçãs armazenadas em baixas temperaturas, a atividade da enzima ACC oxidase é baixa, o que pode ser comprovado neste trabalho pois os valores de atividade foram inferiores a 1 ppm de etileno. Estudos de Asif et al. (2009) mostraram que a redução de 1 °C na temperatura de armazenamento diminui a atividade de inúmeras enzimas presentes nos frutos, incluindo a ACC oxidase. Larrigaudiere et al. (1997) sugeriram que a redução na atividade enzimática da ACC oxidase está relacionada à alteração nas propriedades das membranas celulares induzidas pelo frio.

Reddy e Srivastava (1999) mostraram que o conteúdo de ACC, precursor imediato de etileno, aumenta em diferentes tecidos (casca e mesocarpo) durante o amadurecimento dos frutos, ao passo que a ACC oxidase e a produção de etileno diminuem. Esse fato contraria os resultados apresentados neste trabalho, pois, apesar dos baixos valores encontrados para a atividade da enzima ACC oxidase (Figura 4), observamos um aumento na produção de etileno durante o amadurecimento dos mamões, tanto nos armazenados em temperatura ambiente quanto nos refrigerados (Figuras 3B e 3D). Provavelmente essa produção de etileno ocorreu devido ao Sistema II de produção desse hormônio. Segundo Costa et al. (2014) baixas concentrações endógenas de etileno já são suficientes para a

transição da síntese desse hormônio do sistema I para o sistema II, com consequências importantes para o manejo e a vida de prateleira dos mamões. Yang e Hoffman (1984) descreveram a via de biossíntese do etileno, onde o aminoácido metionina, precursor biológico do etileno em todas as plantas superiores, é convertido em etileno por reações enzimáticas. Na primeira reação, o S-adenosil-metionina (SAM) é convertido em ACC pela ação da enzima ACC sintase. O ACC é então metabolizado pela enzima ACC oxidase, em uma reação que necessita de O_2 e ferro e é ativada pelo CO_2 (Sistema I). Na produção autocatalítica de etileno, o próprio hormônio regula sua produção, induzindo uma nova síntese de ACC sintase e ACC oxidase (Sistema II). O ACC pode ser ainda convertido em malonil-ACC sob a ação da enzima N-maloniltransferase (NMT) e então transportado para os vacúolos (THEOLOGIS et al., 1992).

A peroxidação lipídica, determinada através da quantificação do malondialdeído (MDA), permaneceu baixa durante os primeiros dias de armazenamento dos mamões em temperatura ambiente. A partir do 2º dia de armazenamento, a peroxidação foi mais elevada nos frutos não tratados (Figura 5A). Esse aumento da peroxidação coincide com o incremento da taxa respiratória (Figura 3A), mostrando que a respiração é a principal fonte ativa de produção de radicais livres (RICH; BONNER Jr., 1978), que inativam enzimas e causam danos em componentes celulares como a peroxidação lipídica dos ácidos graxos, resultando na formação de produtos como o malondialdeído (HODGES et al., 1999).

Figura 5. Peroxidação lipídica em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

Durante o armazenamento refrigerado, os mamões de ambos os tratamentos apresentaram baixos valores de peroxidação lipídica (Figura 5B). Esse comportamento variável dos mamões com relação à peroxidação lipídica se deve ao fato que, durante o tratamento térmico, vários eventos que alteram a capacidade antioxidante podem ocorrer, fazendo com que esta capacidade aumente, reduza ou se mantenha nos tecidos vegetais (MELO et al., 2009). No caso do aumento da capacidade antioxidante e, consequentemente, diminuição da peroxidação lipídica, o tratamento térmico propicia a oxidação parcial de compostos bioativos que exibem maior habilidade em doar hidrogênio ao radical livre a partir do grupo hidroxil (MELO et al., 2009) e/ou favorece a formação de novos compostos, como os produtos da reação de Maillard (redutonas), que têm ação antioxidante (NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999).

Como a refrigeração é uma técnica muito eficiente no controle do amadurecimento dos frutos, ela contribuiu para a manutenção da capacidade antioxidante dos mamões tratados durante o armazenamento, fazendo com que o aumento da peroxidação lipídica acontecesse após a transferência dos frutos para a temperatura ambiente (Figura 5B), coincidindo novamente com o incremento da respiração (Figura 3C). Essa manutenção da capacidade antioxidante em virtude da refrigeração também foi observada em abacates submetidos ao tratamento hidrotérmico a 45 °C e armazenados em câmaras a 10 °C (TREMOCOLDI et al., 2014).

A enzima peroxidase (POD) apresentou maior atividade nos frutos não tratados termicamente quando comparada aos mamões tratados tanto durante o armazenamento em temperatura ambiente (Figura 6A) quanto durante o refrigerado (Figura 6B). Segundo Zanatta, Zotarelli e Clemente (2006), a peroxidase possui isoenzimas que apresentam termo estabilidade diferente, levando a respostas diversas quando da aplicação de tratamentos envolvendo altas temperaturas. Ainda de acordo com estes autores, isoenzimas de peroxidase presentes em goiabas têm sua atividade aumentada inicialmente e, logo após o tratamento térmico, observou-se uma perda em torno de 80 % da atividade, sendo que o tratamento não é capaz de inativar totalmente esta enzima devido à presença de isoenzimas termoestáveis. Provavelmente, as isoenzimas de peroxidase presentes no mamão possuam comportamentos enzimáticos semelhantes aos das isoenzimas de goiaba.

Figura 6. Atividade da enzima peroxidase (POD) em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

Segundo Morgado et al. (2015), a atividade da POD em melões aumentou durante o armazenamento refrigerado, provavelmente devido à ocorrência de oxidações causadas por injúria por frio, apesar de não haver sintomas visuais. Nos mamões em análise, o tratamento térmico provavelmente reduziu a atividade enzimática de algumas isoenzimas de POD e a refrigeração induziu o aumento de outras isoenzimas em resposta às oxidações causadas pelo frio, apesar de também não termos observado injúrias de frio nos frutos estudados.

Após transferência dos mamões para a temperatura ambiente, a atividade enzimática da POD aumentou em ambos os tratamentos, sendo que os frutos tratados termicamente continuaram apresentando valores mais baixos de atividade (Figura 6B). Donadon et al. (2012) verificaram que a atividade da POD aumentou em abacates após a transferência dos frutos do armazenamento refrigerado para a temperatura ambiente, indicando que a atividade oxidante da enzima foi estimulada pela injúria pelo frio.

A atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) aumentou durante o armazenamento dos mamões em temperatura ambiente, sendo que esse aumento foi maior nos frutos tratados em comparação aos não tratados (Figura 7A). Segundo Freitas et al. (2008), as atividades da POD e PPO nos extratos enzimáticos de uvas diminuíram com o tempo de exposição do extrato à temperatura de tratamento e também com o aumento da temperatura, sendo que os tratamentos térmicos aplicados não foram suficientes para a total inativação das enzimas. De acordo com Alvim e Clemente (1998) a dificuldade na inativação completa das enzimas se deve à presença de isoenzimas termoestáveis. Para os mamões estudados, o tratamento térmico não inativou a enzima PPO, pois houve aumento de atividade durante o armazenamento dos frutos, indicando que as isoenzimas são termoestáveis.

Figura 7. Atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

Cenci (1994) verificou que alterações no conteúdo das enzimas PPO e POD que ocorrem durante o armazenamento podem estar associadas à senescência dos tecidos, o que envolve aumento da atividade enzimática, prejudicando a qualidade dos frutos. Ainda segundo Resende (2010), o amadurecimento pode ser visto como um fenômeno oxidativo que envolve peroxidação lipídica pelos radicais livres, alterações nos níveis de antioxidantes e mudanças na qualidade dos frutos, podendo ser considerando parte da senescência. Sendo assim, o aumento da atividade da PPO observado para os mamões deste trabalho pode ser uma resposta ao amadurecimento dos frutos, já que observamos um acréscimo na produção de etileno e na taxa respiratória.

De acordo com Furtunato (2002), o tratamento térmico pode inativar algumas enzimas, que se tornam novamente ativas depois de cessado o agente causador da desnaturação, no caso o tratamento térmico, sendo este fenômeno conhecido como renaturação. Ainda segundo este autor, uma maior eficiência no processo de renaturação ocorre quando o resfriamento que segue o tratamento térmico é lento. Isso pode ser observado para a POD e PPO dos mamões tratados e armazenados em temperatura ambiente, pois, após o tratamento hidrotérmico quarentenário, a atividade enzimática foi mais elevada nesses frutos do que nos não tratados (Figura 7A).

A enzima PPO apresentou maior atividade nos mamões não tratados durante o armazenamento refrigerado. Após transferência dos frutos para a temperatura ambiente, houve um acréscimo na atividade enzimática em ambos os tratamentos, sendo que esta foi maior para os frutos tratados (Figura 7B). Em abacates armazenados

em ambiente refrigerado, a atividade da PPO manteve-se inalterada, o que não foi observado neste estudo para os mamões, aumentando após a transferência dos frutos para a temperatura ambiente, indicando a ocorrência de escurecimento oxidativo (DONADON et al., 2012). Nos mamões analisados, esse aumento foi observado, porém nenhum escurecimento visual foi detectado.

O teor de ácido ascórbico não diferiu estatisticamente entre os mamões tratados e não tratados armazenados em temperatura ambiente. Já no armazenamento refrigerado, o teor de ácido ascórbico foi menor ($P \leq 0,05$) nos mamões com tratamento térmico (Tabela 1). De acordo com Neves et al. (2008), os menores teores de ácido ascórbico nos frutos tratados podem ter ocorrido pelo fato de que esses ácidos orgânicos são consumidos em reações oxidativas durante o amadurecimento e a senescência dos frutos, sendo estas reações aceleradas pelo tratamento térmico.

Tabela 1. Teor de ácido ascórbico e perda de massa fresca acumulada em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

Dias	Ácido Ascórbico (mg Vit. C 100 g ⁻¹ polpa)		Perda Massa Fresca Acumulada (%)	
	Sem	Com	Sem	Com
	Armazenamento Ambiente			
0	36,9 aC	36,9 aB	0,0 aH	0,0 aH
1	32,1 aC	30,4 aB	0,8 aG	0,8 aG
2	..	..	1,6 aF	1,5 aF
3	53,8 aA	49,7 aA	2,2 aE	2,1 aE
4	..	..	3,0 aD	2,8 aD
5	34,1 aC	30,6 aB	3,7 aC	3,5 aC
6	..	..	4,6 aB	4,3 bB
7	44,2 aB	43,8 aA	5,8 aA	5,1 bA
Dias	Armazenamento Refrigerado			
0	36,9 aC	36,9 aB	0,0 aH	0,0 aH
1	..	..	1,0 aGH	0,8 aGH
5	..	..	1,8 aFG	1,6 aFG
10	..	..	3,0 aEF	2,6 aEF
15	..	..	4,2 aDE	3,6 aDE
20	..	..	5,4 aCD	4,5 bCD
21	98,1 aA	86,4 bA	6,4 aBC	5,2 bBC
22	82,9 aB	76,4 aA	7,5 aAB	6,0 bAB
23	87,3 aAB	75,2 bA	8,4 aA	6,7 bA

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sem = Frutos sem tratamento térmico; Com = Frutos com tratamento térmico (n = 12).

Sinal convencional utilizado:

.. Não se aplica dado numérico.

O ácido ascórbico, além das suas propriedades nutracêuticas, pode também atuar como agente antioxidante, contribuindo positivamente na preservação da qualidade durante o armazenamento refrigerado. Nesse sentido, limas ácidas submetidas ao aquecimento intermitente e ao armazenamento refrigerado apresentaram maiores

teores de ácido ascórbico do que os frutos sem tratamento (NEVES et al., 2008). No entanto, isso não foi observado para os mamões estudados nesse trabalho.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005) alguns frutos aumentam o teor de ácido ascórbico durante o amadurecimento, como o caju, enquanto outros diminuem, como a acerola. Já a carambola apresentou redução nos teores de ácido ascórbico após 15 dias de armazenamento (TEIXEIRA; DURIGAN; ALVES, 2007) e acréscimo linear nesses teores em função do tempo de armazenamento (OLIVEIRA et al., 2015), mostrando que o mesmo fruto pode apresentar diferentes comportamentos. Resende (2010) mostrou que o teor de ácido ascórbico aumentou com o amadurecimento de mamões, atingindo valores de 96,3 mg de vitamina C 100^{-1} g de polpa. Valores próximos a este foram observados nos mamões não tratados após transferência dos frutos do armazenamento refrigerado para a temperatura ambiente. Para os demais tratamentos, os valores encontrados para ácido ascórbico foram menores.

A perda de massa fresca acumulada foi menor ($P \leq 0,05$) nos mamões tratados termicamente, tanto no armazenamento em temperatura ambiente quanto no refrigerado (Tabela 1), demonstrando que o tratamento térmico foi benéfico para a conservação pós-colheita dos frutos. Segundo Neves et al. (2008), limas-ácidas submetidas ao aquecimento intermitente apresentaram menores perdas de massa fresca quando comparadas aos frutos não tratados.

Morais et al. (2007) observaram que a perda de massa fresca em mamões aumentou de forma linear com o tempo de armazenamento, sendo que, no sétimo dia de armazenamento, os frutos haviam perdido 9,4% da massa inicial e não foi constatado nenhum sintoma de murchamento aparente que comprometesse a aparência dos frutos. Já neste estudo, tanto os mamões tratados quanto os não tratados apresentaram perdas de massa fresca acumulada menores, atingindo valores de 5,1 e 5,8%, respectivamente, no sétimo dia de armazenamento em temperatura ambiente (Tabela 1).

HOJO et al. (2009) observaram um aumento expressivo da perda de massa fresca após transferência de mangas do armazenamento refrigerado para a condição ambiente, passando de 10,0% para um valor máximo de 16,6%. No entanto, para os mamões avaliados, esse aumento não foi tão expressivo, sendo que no último dia de armazenamento refrigerado (20º dia), os valores obtidos foram de 5,4 e 4,5% e, após transferência para a temperatura ambiente, os valores máximos obtidos para a perda de massa fresca acumulada foram 8,4 e 6,7% para os frutos não tratados e tratados, respectivamente (Tabela 1).

A perda de massa fresca ocorre devido à eliminação natural de água pelos frutos através da combinação dos processos de respiração e transpiração (CHITARRA; CHITARRA, 2005). De acordo com Bleinroth et al. (1992), os frutos, ao longo do seu desenvolvimento, estão quase sempre perdendo água, porém há um suprimento constante pela planta. Quando se efetua a colheita, permanece a perda de água, mas sem a reposição. A excessiva transpiração pode comprometer a aparência e a textura dos frutos, tornando-os enrugados, de coloração mais opaca, murchos, moles e de aspecto “borrachento”. Tais sintomas não foram observados nos frutos deste trabalho, pois os mamões foram armazenados em câmaras frigoríficas com umidade controlada de 85%, minimizando a perda de água.

Kechinski et al. (2012) afirmaram que o tratamento hidrotérmico modificou a camada natural de ceras dos mamões, produzindo uma cobertura mais uniforme com menos rachaduras, e cristaloídes, estruturas características da camada de cera, foram formados na superfície dos frutos tratados. Segundo Montero et al. (2010), os cristaloídes visualizados em maçãs submetidas ao tratamento térmico ocorrem para preencher as rachaduras sobre a cutícula e provavelmente evitam a desidratação dos frutos.

Rocha et al. (2005) observaram um acréscimo na perda de massa fresca de mamões com o aumento do período de armazenamento e das temperaturas. Ainda segundo estes autores, o uso da refrigeração associada à umidade relativa do ar proporciona redução da atividade respiratória e da energia liberada para o meio, na forma de calor, redução do déficit de pressão de vapor e, conseqüentemente, a perda de água por transpiração, o que implica a perda de massa e a qualidade dos frutos. Isso foi confirmado pela baixa atividade respiratória (Figura 3C) e pelos menores teores de perda de massa acumulada (Tabela1) observados nos mamões deste trabalho.

Mesmo ocorrendo perda de massa acumulada nos mamões, não foram observados sintomas de murchamento e de injúria por frio, independente do tratamento térmico. De acordo com Mohammadi e Kazemi (2002), a peroxidase (POD) está associada a reações de oxidação e acumulação de compostos fenólicos e, assim como a polifenoloxidase (PPO), está envolvida em processos de indução de resistência em plantas. Como os mamões analisados apresentaram altos teores dessas enzimas, provavelmente elas induziram resistência aos frutos de forma que as injúrias de frio não fossem detectadas.

Os mamões armazenados em temperatura ambiente apresentaram podridões a partir do 4º dia de armazenamento, sendo que não foi observado efeito do tratamento na incidência de podridão (Figura 8A). Durante o armazenamento refrigerado, as lesões foram observadas a partir do 15º dia, sendo que, ao final desse período, os frutos tratados e não tratados apresentaram 3,3 e 10,2% de podridão, respectivamente. Após transferência dos mamões para a temperatura ambiente, a incidência de podridão aumentou, atingindo os valores máximos de 76 e 44% para os frutos não tratados e tratados, respectivamente (Figura 8B).

Figura 8. Incidência de podridão em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média [n = 8 para (A) e n = 9 para (B)].

Segundo Akamine (1967), a imersão de mamões em água quente a 48 °C por 20 minutos foi o melhor tratamento para controlar as doenças de pós-colheita, como a antracnose. Isso foi confirmado em estudos de doenças pós-colheita para mamão (PIMENTEL; MARCONDES; WALDER, 2007) e para banana (MA et al., 2009). No entanto, para os mamões em estudo, armazenados em temperatura ambiente, o tratamento térmico não influenciou a incidência de podridões. Lunardi et al. (2003) também observaram que o tratamento por imersão em água aquecida de maçãs não reduziu a podridão branca causada pelo fungo *Botryosphaeria dothidea*.

Martins e Blum (2014) verificaram que houve redução das podridões sem alteração das propriedades físico-químicas como firmeza, pH, sólidos solúveis totais e acidez titulável de mamões submetidos ao tratamento

hidrotérmico a 48 °C por 20 minutos e armazenados a 13 °C. Essa redução também foi observada nos mamões em estudo, mesmo após transferência dos frutos para a temperatura ambiente. De acordo com Martins e Blum (2014), os princípios de controle da terapia e erradicação provavelmente estão presentes no tratamento térmico e no armazenamento refrigerado. No princípio da terapia os frutos já infectados teriam a colonização interrompida pelo tratamento com água quente. No princípio da erradicação o armazenamento refrigerado promoveria uma desativação dos propágulos dos patógenos antes da infecção.

Kechinski et al. (2012) verificaram que uma combinação de água ozonizada e água quente previniu a entrada de patógenos em mamões através das aberturas da epiderme. Li et al. (2013) indicaram que o tratamento de mamões com água quente reduziu a incidência de antracnose devido à cobertura das aberturas naturais dos frutos pela cera da epiderme, provocada pelo espalhamento da cera derretida durante o tratamento.

O calor reduz a ocorrência de doenças por diminuir a patogenicidade na superfície dos frutos (SOPEE; SANGCHOTE, 2005), pois os esporos e as hifas se localizam nas primeiras camadas da casca e a temperatura na superfície do fruto, quando submetido ao tratamento térmico, pode matar o fungo (CHÁVEZ-SANCHEZ et al., 2013). Também Martínez e Civello (2008) afirmaram que o tratamento térmico diminui o aparecimento de doenças por atrasar o amaciamento dos frutos. No entanto, existem trabalhos demonstrando que o tratamento térmico reduziu o aparecimento de doenças sem atrasar o amadurecimento (ACEDO JÚNIOR; BENETIZ; MILLAN, 2001) e sem inativar significativamente patógenos (ZHU et al., 2011), mas por induzir resistência à doença (MA et al., 2009), ativando o sistema de defesa. Entretanto, quando o amadurecimento é retardado, não é fácil concluir se o sistema de defesa está ativado pelo calor, uma vez que o atraso do amadurecimento geralmente está ligado à indução da resistência à doença. Pesquisas sobre o comportamento de genes envolvidos na biossíntese, percepção e transdução de sinal do etileno poderiam, portanto, ajudar a responder essa questão, porque a resposta de defesa, o amadurecimento, e outros processos de desenvolvimento e estresse envolvem as vias de transdução de sinal desse hormônio (GUO; ECKER, 2004).

3.4. Considerações Finais

O tratamento hidrotérmico quarentenário, associado ao armazenamento refrigerado, reduziu a taxa respiratória e a produção de etileno, fazendo com que as alterações relacionadas ao amadurecimento dos mamões fossem menores, como a perda de massa fresca acumulada, incidência de podridões e teor de ácido ascórbico.

As atividades das enzimas peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACC oxidase) aumentaram ou diminuíram ao longo dos dois períodos de armazenamento e dos tratamentos aplicados, mostrando que são necessários estudos sobre a expressão gênica dessas enzimas para se estabelecer um padrão comportamental e quais isoenzimas são atuantes nos tecidos do mamão.

Os baixos valores de atividade da enzima ACC oxidase sugerem que a produção de etileno nos mamões analisados ocorreu através da produção autocatalítica desse hormônio e/ou que baixos níveis dessa enzima já são suficientes para induzir a produção de etileno.

O aumento da peroxidação lipídica está associado ao incremento da taxa respiratória, sendo que mamões submetidos ao tratamento hidrotérmico quarentenário e armazenados em temperatura refrigerada tiveram menos efeito da peroxidação, já que a respiração é um processo oxidativo que leva à produção de espécies reativas de oxigênio.

Mamões submetidos ao tratamento térmico e armazenados em temperatura refrigerada se mostraram mais resistentes às mudanças relacionadas ao amadurecimento após serem transferidos para a temperatura ambiente, pois apresentaram menores taxas respiratórias, produção de etileno e incidência de podridões. Isto comprova a importância desses dois tratamentos na pós-colheita de mamões, permitindo um aumento no período de comercialização desses frutos.

Referências

- ABDI, N.; McGLASSON, W.B.; HOLFORD, P.; WILLIAMS, M.; MIZRAHI, Y. Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 29-39, Sep. 1998.
- ACEDO Jr, A.L.; BENETIZ, M.M.; MILLAN, L.A. Heat treatment effects on ripening and disease infection of Philippine bananas and mangoes. **Acta Horticulturae**, Koorbeek-Lo, v. 1-2, n. 553, p. 417-420, Jun. 2001.
- AKAMINE, E.K. History of the hot water treatment of papaya. **Hawaii Farm Science**, Honolulu, v. 16, p. 4-6, 1967.
- ALLAIN, C.C.; POON, L.S.; CHAN, C.S.; RICHMOND, W.; FU, P.C. Enzymatic determination of total serum cholesterol. **Clinical Chemistry**, Washington, v. 20, n. 4, p. 470-475, Apr. 1974.
- ALMEIDA, R.F. de; RESENDE, E.D. de; VITORAZI, L.; CARLOS, L. de A.; PINTO, L.K. de A.; SILVA, H.R.F. da; MARTINS, M.L.L. Injúria pelo frio em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 17-20, abr. 2005.
- ALVIM, K.C.; CLEMENTE, E. Estudo da termoestabilidade de peroxidases extraídas da polpa e casca de mexerica (*Citrus deliciosa*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 2, p. 201- 205, 1998.
- ASIF, M.H.; PATHAK, N.; SOLOMOS, T. TRIVEDI, P.K. Effect of low oxygen, temperature and 1-methylcyclopropene on the expression of genes regulating ethylene biosynthesis and perception during ripening in apple. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 137-144, Jan. 2009.
- BENATO, E.A. Meios físicos de controle de doenças pós-colheita em frutas e indução de resistência. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 258, 2001. Suplemento.
- BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M.; ARDITO, E. de F.G.; CASTRO, J.V. de; SPAGNOL, W.A.; NEVES, L. de C.F. **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL, 1992. 203 p.
- CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M. de. **Manual técnico de análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121 p.

- CENCI, S.A. **Ácido naftalenoacético (ANA) e cloreto de cálcio na pré-colheita de uva Niágara rosada (*Vitis labrusca* L. x *Vitis vinifera* L.):** avaliação do potencial de conservação no armazenamento. 1994, 109 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.
- CHÁVEZ-SÁNCHEZ, I.; CARRILO-LÓPEZ, A.; VEGA-GARCÍA, M.; YAHIA, E.M. The effect of antifungal hot-water treatments on papaya postharvest quality and activity of pectinmethylesterase and polygalacturonase. **Journal of Food Science and Technology**, Berlin, v. 50, n. 1, p. 101-107, Feb. 2013.
- CHEN, N.M.; PAULL, R.E. Development and prevention of chilling injury in papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 111, n. 4, p. 639-643, 1986.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.
- COSTA, F.; CAPPELLIN, L.; FARNETI, B.; TADIELLO, A.; ROMANO, A.; SOUKOULIS, C.; SANSVINI, S.; VELASCO, R.; BIASIOLI, F. Advances in QTL mapping for ethylene production in apple (*Malus x domestica* Borkh.). **Postharvest, Biology and Technology**, Amsterdam, v. 87, p. 126-132, Jan. 2014.
- DONADON, J.R.; DURIGAN, J.F.; MORGADO, C.M.A.; SANTOS, L.O. Armazenamento refrigerado de abacates ‘Hass’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 981-989, dez. 2012.
- EDAGI, F.K.; SESTARI, I.; SASAKI, F.F.; TERRA, F. de A.M.; KLUGE, R.A. Compostos salicilados e tolerância de nêspas ao frio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 563-566, mai. 2011.
- FREITAS, A.A. de; FRANCELIN, M.F.; HIRATA, G.F.; CLEMENTE, E.; SCHMIDT, F.L. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares Benitaka e Rubi e em seus sucos e geleias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 172-177, jan/mar. 2008.
- FURTUNATO, A.A. **Estudo da cinética de inativação térmica da pectina esterase e peroxidase presente na polpa de cajá (*Spondias lutea*)**. 2002. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.
- GALEANO, E.V.; MARTINS, D. dos S. Evolução da produção e comércio mundial de mamão. **Anais**. VI Simpósio do Papaya Brasileiro: tecnologia de produção e mercado para o mamão brasileiro. Vitória, ES. Nov, p.1-7, 2015.
- GUO, H.; ECKER, J.R. The ethylene signaling pathway: new insights. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 40-49, Feb. 2004.

- HODGES, D.M.; DELONG, J.M.; FORNEY, C.F.; PRANGE, R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta**, Berlin, v. 207, n. 4, p. 604-611, Feb. 1999.
- HOJO, E.T.D.; ABREU, C.M.P. de; ASMAR, S.A.; HOJO, R.H.; CÔRREA, A.D.; BOAS, E.V. de B.V. Avaliação da qualidade de manga 'Palmer' tratada com 1-metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 28-38, mar. 2009.
- JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R. de C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, abr/jun. 2002.
- KECHINSKI, C.P.; MONTERO, C.R.S.; GUIMARÃES, P.V.R.; NOREÑA, C.P.Z.; MARCZAK, L.D.F.; TESSARO, I.C.; BENDER, R.J. Effects of ozonized water and heat treatment on the papaya fruit epidermis. **Food and Bioproducts Processing**, Amsterdam, v. 90, n. 2, p. 118-122, Apr. 2012.
- LARRIGAUDIÈRE, C.; GRAELL, J.; SALAS, J.; VENDRELL, M. Cultivar differences in the influence of a short period of cold storage on ethylene biosynthesis in apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 10, n. 1, p. 21-27, Jan. 1997.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses: chilling, freezing and high temperature stresses**. v.1. 2. ed. New York: Academic Press, 1980. 510 p.
- LI, X.; ZHU, X.; ZHAO, N.; FU, D.; LI, J.; CHEN, W.; CHEN, W. Effects of hot water treatment on anthracnose disease in papaya fruit and its possible mechanism. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 86, p. 437-446, Dec. 2013.
- LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A.M. de. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 21-26, 1999.
- LUNARDI, R.; SEIBERT, E.; PEZZI, E.; CASALI, M.E.; BENDER, R.J. Efeito de tratamentos térmicos por imersão na qualidade de maçãs cv. Fuji inoculadas com *Botryosphaeria dothidea* e armazenadas em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 332-334, ago. 2003.
- LURIE, S. Postharvest heat treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 257-269, Nov. 1998.
- MA, B-C; TANG, W-L; MA, L-Y; LI, L-L; ZHANG, L-B; ZHU, S-J; ZHUANG, C.; IRVING, D. The role of chitinase gene expression in the defense of harvested banana against anthracnose disease. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 134, n. 3, p. 379-386, May 2009.

- MANOLOPOULOU, H.; PAPADOPOULOU, P. A study of respiratory and physico-chemical changes of four kiwi fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**, Barking, v. 63, n. 4, p. 529-534, Dec. 1998.
- MARANGONI, A.G.; PALMA, T.; STANLEY, D.W. Membrane effects in postharvest physiology. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 7, n. 3, p. 193-217, Feb. 1996.
- MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M. Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 38-45, Jul. 2008.
- MARTINS, D.M.S.; BLUM, L.E.B. Redução da antracnose e da podridão seca pós-colheita em mamão por hidrotermia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 98-105, jul/set. 2014.
- MATHEW, A.G.; PARPIA, H.A.B. Food browning as a polyphenol reaction. **Advances in Food Research**, New York, v. 19, p. 75-145, 1971.
- MELO, E. de A.; MACIEL, M.I.S.; LIMA, V.L.A.G. de; SANTANA, A.P.M. de. Capacidade antioxidante de hortaliças submetidas a tratamento térmico. **Nutrire – Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 85-95, abr. 2009.
- MIHARA, M.; UCHIYAMA, M.; FUKUZAWA, K. Thiobarbituric acid value on fresh homogenate of rat as a parameter of lipid peroxidation in aging, CCl₄ intoxication, and vitamin E deficiency. **Biochemical Medicine**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 302-311, Jun. 1980.
- MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. **Plant Science**, Amsterdam, v. 162, n. 4, p. 491-498, Apr. 2002.
- MONTERO, C.R.S.; ANTES, R.B.; SANTOS, R.P. dos; SANTOS, L.C. dos; ANDREAZZA, C.S.; BENDER, R.J. Alterações na cutícula de maçãs 'Fuji' e 'Gala' em função do tratamento térmico e da armazenagem refrigerada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 441-447, 2010.
- MORAIS, P.L.D. de; SILVA, G.G. da; MENEZES, J.B.; MAIA, F.E.N.; DANTAS, D.J.; SALES JÚNIOR, R. Pós-colheita de mamão híbrido UENF/Caliman 01 cultivado no Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 666-670, dez. 2007.
- MORGADO, C.M.A.; MATTIUZ, C.F.M.; MUNIZ, A.C.; CHARLES, F.; MATTIUZ, B-H. Qualidade de melões 'Louis' armazenados em quatro temperaturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1953-1958, nov. 2015.
- MORRIS, L.L. Chilling injury of horticultural crops: an overview. **HortScience**, Alexandria, v. 17, n. 2, p. 157-158, 1982.

- MOYA-LEON, M.A.; JOHN, P. Activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase (ethylene-forming enzyme) in the pulp and the peel of ripening bananas. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, n. 2, p. 243-250, 1994.
- NEVES, L.C.; BENEDETTE, R.M.; SILVA, V.X. da; VIEITES, R.L.; ROBERTO, S.R. Dano de frio em limas-ácidas 'Tahiti, colhidas em diferentes épocas e submetidas a tratamentos térmicos e bioquímicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 377-384, jun. 2008.
- NEVES, L.C.; RODRIGUES, A.C.; VIEITES, R.L. Polietileno de baixa densidade (pebd) na conservação pós-colheita de figos cv. "Roxo de Valinhos". **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 57-62, abr. 2002.
- NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 94-100, Mar. 1999.
- OLIVEIRA, T.A. de; AROUCHA, E.M.M.; LEITE, R.H. de L.; FERREIRA, R.M. de A.; SANTOS, F.K.G. dos. Conservação pós-colheita de carambola sob refrigeração com recobrimento de biofilme de gelatina e PVC. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 4, p. 59-66, out/dez. 2015.
- PALTA, J.P. Stress interactions at the cellular and membrane levels. **HortScience**, Alexandria, v. 25, v. 1, n. 11, p. 1377-1381, Nov. 1990.
- PAULA, L.A. de; ISEPON, J. dos S.; CORRÊA, L. de S. Qualidade pós-colheita de figos do cv Roxo-de-Valinhos com aplicação de cloreto de cálcio e fungicidas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 41-46, 2007.
- PAULL, R.E. Pineapple and papaya. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. (Eds.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Springer Netherlands, 1993. p.291-323.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat treatment and fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 21-37, Dec. 2000.
- PIMENTEL, R.M. de A.; MARCONDES, Y.E. de M.; WALDER, J.M.M. Qualidade do mamão cv. Solo submetido ao choque térmico e tratamento quarentenário por radiação gama. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 483-487, dez. 2007.
- REDDY, Y.V.; SRIVASTAVA, G.C. Ethylene biosynthesis and respiration during ripening in mango cultivars. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 4, n. 1, p. 32-35, 1999.

- RESENDE, E.C.O. **Enzimas antioxidantes em frutos com diferentes padrões de amadurecimento**. 2010. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2010.
- RICH, P.R.; BONNER Jr., W.D. The sites of superoxide anion generation in higher plant mitochondria. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 188, n. 1, p. 206-213, May 1978.
- ROCHA, R.H.C.; NASCIMENTO, S.R. de C.; MENEZES, J.B.; NUNES, G.H. de S.; SILVA, E. de O. Qualidade pós-colheita do mamão Formosa armazenado sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 386-389, dez. 2005.
- SALA, J.M. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 255-261, Jun. 1998.
- SILVA, E.; NOGUEIRA, J.N. Efeito do calor na atividade da polifenol oxidase e peroxidase em algumas frutas e hortaliças. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, volume XL, p. 137-161, 1983.
- SILVA, M.G. da; SANTOS, E.O.; STHEL, M.S.; CARDOSO, S.L.; CAVALLI, A.; MONTEIRO, A.R.; OLIVEIRA, J.G. de; PEREIRA, M.G.; VARGAS, H. Effect of heat treatment on ethylene and CO₂ emissions rates during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. **Review of Scientific Instruments**, Melville, v. 74, n. 1, p. 703-705, Jan. 2003.
- SIVAKUMAR, D.; WALL, M.M. Papaya fruit quality management during the postharvest supply chain. **Food Reviews International**, London, v. 29, n. 1, p. 24-48, Jan/Mar. 2013.
- SONG, J-D.; KIM, J-H.; LEE, D-H.; RHEW, T.H.; CHO, S.H.; LEE, C-H. Developmental regulation of the expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase and ACC oxidase genes in hypocotyls of etiolated mung bean seedlings. **Plant Science**, Amsterdam, v. 168, n. 5, p. 1149-1155, May 2005.
- SOPEE, J.; SANGCHOTE, S. Effect of heat treatment on the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* and anthracnose of mango fruit. **Acta Horticulturae**, Korbek-Lo, v. 1-3, n. 682, p. 2049-2056, Jun. 2005.
- SOUZA, A.F.; SILVA, W.B. da; GONÇALVES, Y.S.; SILVA, M.G. da; OLIVEIRA, J.G. de. Fisiologia do amadurecimento de mamões de variedades comercializadas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 318-328, jun. 2014.
- STANLEY, D.W.; PARKIN, K.L. Biological membrane deterioration and associated quality losses in food tissues. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 30, n. 5, p. 487-553, 1991.

- TATAGIBA, J. da S.; OLIVEIRA, A.A.R. Tratamentos pós-colheita. In: RITZINGER, C.H.S.P.; SOUZA, J. da S. (Eds.). **Mamão: fitossanidade**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 12-14.
- TEIXEIRA, G.H. de A.; DURIGAN, J.F.; ALVES, R.E. Qualidade de frutos de carambola após tratamento térmico. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 43-50, jan/mar. 2007.
- TEIXEIRA, G.H. de A.; DURIGAN, J.F.; ALVES, R.E.; O'HARE, T.J. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. Fwang Tung). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 80-85, Apr. 2007.
- TERAO, D.; OLIVEIRA, S.M.A. de; VIANA, F.M.P.; ALVES, R.E.; ROSSETTI, A.G.; GONDIM, D.M.F. Efeito de 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado à refrigeração no controle de podridão pós-colheita em frutos de melão. **Proceedings of Interamerican Society for Tropical Horticulture**, San Jose, v. 47, p. 53-57, Oct. 2003.
- THEOLOGIS, A.; ZAREMBINSKI, T.I.; OELLER, P.W.; LIANG, X.; ABEL, S. Modification of fruit ripening by suppressing gene expression. **Plant Physiology**, Rockville, v. 100, n. 2, p. 549-551, Oct. 1992.
- TREMOCOLDI, M.A.; DAIUTO, E.R.; ALENCAR, S.M. de ; VIEITES, R.L. Efeito da hidrotermia em abacate 'Hass' sobre a capacidade antioxidante, compostos fenólicos e coloração. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1279-1290, mai/jun. 2014.
- VIEITES, R.L.; DAIUTO, E.R.; FUMES, J.G.F. Capacidade antioxidante e qualidade pós-colheita de abacate 'Fuerte'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 336-348, jun. 2012.
- VILLALOBOS-ACUÑA, M.G.; BIASI, W.V.; FLORES, S.; JIANG, C-Z.; REID, M.S.; WILLITS, N.H.; MITCHAM, E.J. Effect of maturity and cold storage on ethylene biosynthesis and ripening in 'Bartlett' pears treated after harvest with 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 1-9, Jan. 2011.
- WANG, C.Y. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. **HortScience**, Alexandria, v. 17, p. 173-186, 1982.
- WANG, S.S.; DIMARCO, G.R. Isolation and characterization of the native, thermally inactivated and regenerated horse radish peroxidase isozymes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 37, n. 4, p. 574-578, Jul. 1972.
- WEBER, A.; BRACKMANN, A.; THEWES, F.R.; BOTH, V.; ANESE, R. de O.; SCHORR, M.R.W. Relative humidity and its interaction with the storage temperature of 'Gala' apples and mutants. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2159-2165, dez. 2012.

- WHANGCHAI, K.; GEMMA, H.; IWAHORI, S.; UTHAIBUTRA, J. Endogenous polyamines in 'Nam Dok Mai' mangoes with different ripening stages and its relation to chilling injury during storage. **Acta Horticulturae**, Korbeek-Lo, v. 1-2, n. 509, p. 429-436, Feb. 2000.
- YANG, S.F.; HOFFMAN, N.E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 155-189, Jun. 1984.
- YANG, X.; SONG, J.; CAMPBELL-PALMER, L.; FILLMORE, S.; ZHANG, Z. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 78, n.1, p. 55-66, Apr. 2013.
- ZANATTA, C.L.; ZOTARELLI, M.F.; CLEMENTE, E. Peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em polpa de goiaba (*Psidium guajava* R.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 705-708, jul/set. 2006.
- ZHU, X.; WANG, A.; ZHU, S.; ZHANG, L. Expression of *ACO1*, *ERS1* and *ERF1* genes in harvested bananas in relation to heat-induced defense against *Colletotrichum musae*. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 168, n. 14, p. 1634-1640, Sep. 2011.

4. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE MAMÕES SUBMETIDOS AO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO QUARENTENÁRIO

Resumo

Após a aplicação do tratamento hidrotérmico quarentenário e do período de conservação no frio é importante que as características de qualidade do fruto, como gosto e aroma, se mantenham inalteradas visando à comercialização do produto. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos do tratamento hidrotérmico e do armazenamento refrigerado sobre as características organolépticas do mamão. Mamões 'Golden' no estágio de maturação 1 foram divididos em dois lotes, sendo um submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, seguida de imersão em água fria a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por igual período e o outro lote utilizado como controle (sem tratamento hidrotérmico). Parte dos frutos foi armazenada a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 7 dias e parte a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 20 dias, seguido de armazenamento a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR durante 3 dias. Os mamões foram avaliados quanto à firmeza da polpa, coloração da casca e da polpa, pigmentos (clorofilas e carotenoides), atividade da enzima pectinametilesterase (PME), compostos voláteis e teor de sólidos solúveis. Ao final dos dois regimes de armazenamento, os frutos foram submetidos a um teste sensorial de preferência e aceitação a fim de determinar alterações nas características de aroma, cor, sabor e textura. O delineamento experimental foi esquema fatorial e os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias a 5% de probabilidade. O tratamento térmico e o armazenamento refrigerado não influenciaram a firmeza da polpa, o teor de sólidos solúveis, a cor da casca e a cor da polpa dos mamões. O tratamento hidrotérmico quarentenário influenciou de forma positiva o sabor e a textura dos frutos, sem alterar a produção de compostos voláteis. Já o frio interferiu na produção de compostos voláteis, tornando os mamões menos atrativos para o consumo. A aplicação de tratamento térmico aumentou a atividade da enzima PME e a produção de carotenoides e reduziu o teor de clorofila, porém, quando o armazenamento refrigerado foi utilizado, houve retenção nas alterações dessas variáveis.

Palavras-chaves: *Carica papaya* L.; Análise sensorial; Compostos voláteis; Pigmentos; Refrigeração

Abstract

After application of the hydrothermal quarantine treatment and the storage period in the cold, it is important that fruit quality characteristics such as taste and aroma remain unchanged aiming the product marketing. Thus, the aim of this study was to determine the effects of hydrothermal treatment and cold storage on the organoleptic characteristics of papaya. Golden papaya in maturity stage 1 were divided into two batches, one being subjected to hydrothermal quarantine treatment to $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 minutes, followed by immersion in cold water to $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the same period and the other lot used as a control (no hydrothermal treatment). Part of the fruits were stored at $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 7 days and some at $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 20 days, followed by storage at $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH for 3 days. The papayas were evaluated for firmness, skin color and pulp, pigments (chlorophylls and carotenoids), pectinametilesterase (PME) activity, volatile and soluble solids. At the end of the two storage arrangements, the fruits were subjected to a sensory test for acceptance and preference in order to determine changes in flavor, color, taste and texture. The experimental design was factorial and the results were submitted to variance analysis and comparison test at 5% probability. The heat treatment and cold storage did not affect the pulp firmness, soluble solids content, skin and pulp colors of papayas. Hydrothermal quarantine treatment positively influenced the taste and texture of the fruit without altering the production of volatile compounds. But the cold interfered with the production of volatile compounds, making papayas less attractive for consumption. The application of heat treatment increased the PME activity and production of carotenoids and reduced chlorophyll content, but when the cold storage was used, there was retention in these variables changes.

Keywords: *Carica papaya* L.; Pigments; Refrigeration; Sensory analysis; Volatiles

4.1. Introdução

O mamão (*Carica papaya* L.) é um fruto com propriedades funcionais, sendo rico em vitamina C, pró-vitamina A (carotenoides), fibras (ULRICH; WIJAYA, 2010), sais minerais e carboidratos, além de ser apreciado por suas propriedades sensoriais, em particular por sua cor, aroma e sabor (THOMAS, 1986). A cultivar ‘Golden’, genótipo resultante de seleções da cv. ‘Sunrise Solo’ (COSTA; PACOVA, 2003), é exportada para os Estados Unidos e Europa, onde é bastante apreciada pelo aroma e sabor, assim como pela cor e textura da polpa. Contudo, a comercialização em maior escala impõe desafios, pois o mamão é um fruto de alta perecibilidade (GOMES, 2012). Durante o processo de amadurecimento, ocorrem inúmeras transformações na composição do mamão, como mudanças na coloração, pigmentos, compostos voláteis, ácidos orgânicos e carboidratos, que correspondem às principais alterações de interesse comercial, pois afetam diretamente o aroma, sabor e textura do fruto, características de maior importância para o consumidor (BLEINROTH; SIGRIST, 1995).

Após a colheita, inúmeras mudanças bioquímicas ocorrem nos mamões, como aumento no conteúdo de açúcares (SANTANA; MATSUURA; CARDOSO, 2004), e redução da firmeza devido ao amaciamento causado pela progressiva transformação das protopectinas (formas menos solúveis) em pectinas ou ácido péctico (formas mais solúveis) (PROCTOR; CAYGILL, 1985). A coloração do fruto é apelativa e indutora de apetência, sendo as cores um critério na avaliação visual utilizada pelos consumidores para determinar se o mamão está maduro (SANTANA; MATSUURA; CARDOSO, 2004). O amaciamento do fruto aumenta rapidamente durante o amadurecimento (SHIOTA, 1991; McGRATH; KARAHADIAN, 1994), assim como os níveis de sólidos solúveis, incluindo os metabólitos para a biossíntese de moléculas voláteis (WILLAERT et al., 1983).

O gosto e aroma são atributos importantes para a qualidade dos frutos e se entende como *flavor* a combinação dessas duas sensações. Sendo assim, o *flavor* característico e particular de cada fruto resulta de uma mistura complexa de açúcares, ácidos, sais, compostos amargos, como alcaloides e flavonoides, e compostos voláteis (SONG; FORNEY, 2008). Os componentes voláteis produzidos pelas plantas em geral são úteis como mecanismo de proteção e defesa contra o ataque de microrganismos e herbívoros, para comunicação entre as plantas, bem como para atração de agentes dispersores (MARÍN-LOAÍZA; CÉSPEDES, 2007). Os voláteis de mamão são compostos de uma mistura complexa, sendo os terpenos os constituintes mais importantes (FUGGATE et al., 2010).

Os componentes voláteis do mamão têm sido investigados, levando à identificação de mais de 300 voláteis (ORTEGA; PINO ALEA, 1997). Entre esses, linalool e benzil isotiocianato (FLATH; FORREY, 1977; MACLEOD; PIERIS, 1983), metil butanoato (MACLEOD; PIERIS, 1983) ou etil butanoato (HEIDLAS et al., 1984) foram os mais abundantes, sendo que os dois primeiros são voláteis induzidos enzimaticamente pela atividade da β -tioglucosidase a partir dos glucosinolatos após ruptura do tecido celular (HEIDLAS et al., 1984). Ortega e Pino Alea (1997) demonstraram que a composição de componentes voláteis em frutos tropicais pode variar consideravelmente, dependendo do cultivar e/ou da região de produção do fruto.

A cadeia de frio durante o transporte e armazenamento constitui um conjunto de soluções tecnológicas largamente utilizado para o controle do amadurecimento e, conseqüentemente, para ampliar a vida de prateleira dos frutos e a oferta tanto no mercado interno quanto externo. Com a diminuição da temperatura, as reações enzimáticas ocorrem mais lentamente, reduzindo o metabolismo e, assim, retardando o amadurecimento e senescência. Contudo, o frio pode causar distúrbios fisiológicos irreversíveis, que reduz a aceitação do fruto pelo consumidor ou até impede

sua comercialização. A exposição a temperaturas toleradas, nas quais não há injúria, também pode alterar o equilíbrio metabólico, pois à medida que a homeostase é afetada pelo frio, diversas rotas bioquímicas mudam seu padrão de atividade, desviando a síntese de alguns produtos, gerando metabólitos diferentes ou mesmo acumulando intermediários tóxicos (GOMES, 2012).

Além da refrigeração, o tratamento hidrotérmico quarentenário tem sido utilizado antes do armazenamento refrigerado, visando controlar pragas e doenças (LURIE, 1998). No entanto, esta técnica pode afetar a qualidade pós-colheita dos mamões, causando alterações nos processos do amadurecimento, como amaciamento, mudanças na degradação e/ou revelação de pigmentos, alterações em componentes do sabor, teores de sólidos solúveis e compostos voláteis (LURIE, 1998; PAULL; CHEN, 2000).

Sabendo da importância do *flavor* como fator de qualidade durante a comercialização do mamão após o tratamento hidrotérmico e o período de conservação no frio, o conhecimento sobre quais vias metabólicas são afetadas pode proporcionar o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas pós-colheita capazes de aumentar a vida de prateleira dos frutos (GOMES, 2012). Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos do tratamento hidrotérmico quarentenário e do armazenamento refrigerado sobre as características organolépticas do mamão.

4.2. Material e Métodos

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, em Piracicaba-SP.

Mamões (*Carica papaya* L.) do grupo Solo, variedade Golden, no estágio de maturação 1, tomando-se como base a coloração da casca (até 15% com cor amarela) (Figura1), foram colhidos em pomares comerciais localizados no Espírito Santo. Estes frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias mecânicas e estágio de maturação. Posteriormente, os mamões foram pulverizados com fungicida, embalados e transportados ao laboratório, sendo que o tempo entre a colheita e o tratamento térmico foi de quatro dias. No laboratório houve nova seleção, descartando frutos fora do padrão (presença de defeitos e com coloração desuniforme), visando à homogeneização do lote.

Os mamões foram divididos em dois lotes de 318 frutos, sendo um lote submetido ao tratamento hidrotérmico quarentenário e o outro lote utilizado como controle (sem tratamento hidrotérmico). O tratamento hidrotérmico consistiu na imersão dos frutos em água quente a $47\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, seguida de imersão em água fria a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por igual período (TATAGIBA; OLIVEIRA, 2000). O tratamento com água quente foi realizado em banho térmico, marca Tecnal, com circulação de água e display digital para monitoramento da temperatura (Figura 2). Já o tratamento com água fria foi realizado em caixa de polietileno com capacidade de 50 L, adicionando-se gelo e água fria conforme a necessidade para manter a temperatura estável, sendo esta monitorada com termômetro de mercúrio. A água utilizada era destilada, sem adição de cloro ou qualquer outro produto químico.

Os frutos de ambos os tratamentos (com e sem tratamento hidrotérmico) foram submetidos a dois regimes de armazenamento, sendo:

- **Armazenamento em temperatura ambiente:** os frutos foram armazenados em câmara a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 7 dias. Os mamões foram avaliados todos os dias quanto à cor da

casca, cor da polpa, nota de cor da casca, firmeza externa, firmeza interna, teor de carotenoides, teor de clorofilas, atividade da enzima pectinametilesterase (PME) e compostos voláteis. Os frutos também foram avaliados quanto ao teor de sólidos solúveis em dias alternados.

- **Armazenamento refrigerado:** os frutos foram armazenados em câmara a $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 20 dias, seguido de armazenamento a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $85\% \pm 1\%$ durante 3 dias. Durante o armazenamento a $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, os mamões foram avaliados a cada quatro dias quanto à cor da casca, cor da polpa, nota de cor da casca, firmeza externa, firmeza interna, teor de carotenoides, teor de clorofilas, atividade da enzima pectinametilesterase (PME) e compostos voláteis. Após transferência para temperatura ambiente foram avaliados, todos os dias, os mesmos parâmetros citados anteriormente, além do teor de sólidos solúveis.

Ao final dos dois regimes de armazenamento, os frutos foram submetidos a um teste sensorial de preferência e aceitação a fim de determinar alterações nas características de aroma, cor, sabor e textura.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×8 (2 tratamentos $\times$ 8 dias de avaliação), para o armazenamento em temperatura ambiente, e 2×9 (2 tratamentos $\times$ 9 dias de avaliação), para o armazenamento refrigerado, com 12 repetições de um fruto. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias (teste de Tukey) a 5% de probabilidade.

A coloração da casca e da polpa foi determinada com colorímetro Minolta, modelo CR-300, com sistema de cor L C h°, iluminante D65 e observador padrão 2°, tomando-se duas leituras por fruto, em lados opostos de sua região equatorial. Os resultados foram expressos em ângulo de cor (h°).

A avaliação visual da cor da casca foi determinada através de notas aplicadas a cada fruto, de acordo com uma escala, onde 0 = 0% de casca amarela, 1 = até 15% da casca amarela, 2 = até 25% da casca amarela, 3 = até 50% da casca amarela, 4 = até 75% da casca amarela e 5 = até 100% da casca amarela (Figura 9). Os resultados foram apresentados considerando a média das notas dos frutos de cada tratamento em cada dia de avaliação.

Figura 9. Escala de notas de 0 a 5 da cor da casca para mamão ‘Golden’.

A firmeza da polpa foi determinada com penetrômetro digital, marca Tr – Turoni, Forli – Italy (Sammar – 53200), ponteira 8 mm, tomando-se três leituras em lados opostos da região equatorial do fruto, após a retirada da casca. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Para determinação do teor de sólidos solúveis (SS), a polpa dos frutos foi triturada em centrífuga doméstica e uma gota do suco foi colocada em refratômetro digital Atago, modelo Palete 101, com três leituras por repetição. Os resultados foram expressos em °Brix, que é uma correspondência entre o índice de refração e a porcentagem de sacarose de soluções aquosas (CARVALHO et al., 1990).

Os teores de carotenoides e clorofilas totais foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), sendo o teor de carotenoides determinado em porções retangulares de polpa, compostas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo e o teor de clorofilas somente na casca dos frutos. Amostras de mamão com cerca de 2 g, previamente congeladas em N₂ líquido e armazenadas em freezer com temperatura de -80 °C, foram pulverizadas em moinho, marca IKA, com N₂ líquido. Posteriormente, essas amostras foram homogeneizadas em 18 mL de solução de acetona a 80% em um almofariz, na ausência de luz, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos, e centrifugadas a 3.000 rpm por 5 minutos. As leituras da absorbância foram realizadas em espectrofotômetro marca Biochrom, modelo Libra S22, a 663 nm para clorofila *a*, 646 nm para clorofila *b*, e 470 nm para carotenoides, utilizando-se a solução de acetona a 80% como branco para zerar o equipamento. Os resultados foram expressos em µg de pigmentos mL⁻¹ de solução.

A atividade da pectinametilesterase (PME) foi determinada por titulometria através da liberação dos grupos carboxílicos ácidos, resultantes da ação da enzima (KERTESZ, 1951). Porções retangulares da polpa dos frutos, de aproximadamente 5 g, previamente armazenadas em freezer a -80 °C, foram pulverizadas com um moinho, marca IKA, na presença de N₂ líquido e homogeneizadas em 20 mL de solução de cloreto de sódio (NaCl) 0,2 N a 4 °C. Um volume de 5 mL deste extrato foi adicionado a 30 mL de pectina cítrica 1%, pH 7, diluída em NaCl 0,2 N e a mistura teve o pH rapidamente corrigido para 7. A titulação do substrato foi realizada utilizando-se hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 N, durante 10 minutos, de modo que seu pH ficasse sempre mantido próximo a 7. A atividade foi expressa em ηMol de NaOH grama⁻¹ de polpa minuto⁻¹.

Os compostos voláteis de mamão foram avaliados com a metodologia de isolamento dos mesmos no *headspace* das amostras pela técnica de micro-extração em fase sólida (SPME) empregando uma fibra de polidimetilsiloxano de 100 µm de espessura da Supelco® (CAR/DVB/PDMS). A extração em *headspace* foi realizada com a parte mediana da polpa do fruto, previamente congelada em N₂ líquido e triturada com moinho analítico IKA. Aproximadamente 3 g de polpa triturada de um pool de três frutos foram acrescidos de 7 mL de solução de NaCl a 30% (p/v), colocados em vial e congelados a temperatura de -20 °C. No momento da análise o vial contendo a polpa em solução de NaCl foi descongelado a 40 °C, em banho-maria com agitação intensa. Os compostos voláteis foram acumulados por 20 minutos e em seguida expostos a fibra por 40 minutos. A amostra foi dessorvida da fibra pela exposição ao calor do injetor do cromatógrafo (200 °C) por 15 minutos. Foi utilizado o cromatógrafo Hewlett-Packard modelo 6890 acoplado a um detector seletivo de massas da mesma empresa, modelo 5973. Uma coluna capilar de sílica fundida foi utilizada na separação dos compostos. O espectrômetro de massas operou em um modo de ionização por impacto de elétrons a 70 eV com fonte de íons mantida a 150 °C, com faixa de varredura de 50 a 550 m/z. Os compostos foram identificados por comparação dos espectros de massas obtidos com os dados da biblioteca NIST98, sendo considerados com identificação positiva aqueles com índice de similaridade acima de 70%. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística de componentes principais (PCA), através do software XLSTAT. A caracterização química dos compostos voláteis foi realizada no Laboratório de Química e Bioquímica da FCF-USP, São Paulo-SP e foram coletadas amostras de mamões dos dias 0 e 7, armazenados em temperatura ambiente, e dos dias 0, 20 e 23, armazenados sob refrigeração.

Para o teste sensorial de ordenação-preferência, os mamões foram descascados e cortados em pedaços de 2 x 2 cm, sendo as amostras compostas de dois pedaços de frutos. As amostras foram apresentadas a 50 provadores não treinados dentre alunos e funcionários da ESALQ/USP em pratos descartáveis brancos, codificados com algarismos de 3 dígitos. Os atributos aroma, cor, sabor e consistência foram analisados com a utilização de escala estruturada de nove pontos, baseada em números de 1 a 9, variando de “desgostei extremamente” a “gostei

extremamente”. Esta escala é aplicada a um público-alvo definido, sendo largamente utilizada para análises sensoriais. Além da escala hedônica que avaliou a aceitação, foi utilizada uma escala de intenção de compra, numerada de 1 a 5, variando de “certamente compraria o produto” a “certamente não compraria o produto”, com o intuito de avaliar qual produto seria mais adquirido pelos consumidores. Também foi realizado um levantamento sobre o consumo de mamão e o perfil dos provadores durante a análise. A ficha utilizada no teste de ordenação-preferência para os atributos sensoriais de cor, aroma, sabor e textura encontra-se em anexo. O delineamento experimental utilizado para esta análise foi em blocos casualizados, com duas repetições por tratamento, sendo cada provador considerado um bloco, num total de cinquenta provadores. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias (teste de Tukey) a 5% de probabilidade. Estas análises tiveram o apoio do laboratório de Frutas e Hortaliças, coordenado pela Prof^a Marta Helena F. Spoto.

4.3. Resultados e Discussão

Independentemente da condição de armazenamento, seja temperatura ambiente ou refrigeração, a firmeza da polpa não diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) entre os frutos tratados e não tratados (Figura 10). A firmeza da polpa apresentou valor inicial de 29,5 N no dia 0 e, ao longo dos dias de armazenamento, observamos uma redução dessa característica. Durante o armazenamento em temperatura ambiente, a firmeza reduziu significativamente ($P \leq 0,05$) até o 7º dia de avaliação, quando os mamões tratados e não tratados apresentaram valores de 3,6 e 4,4 N, respectivamente (Figura 10A). Nos frutos armazenados sob refrigeração, a firmeza da polpa atingiu valores de 8,0 e 10,9 N para mamões tratados e não tratados, respectivamente, no 23º dia de armazenamento (Figura 10B). Souza et al. (2014) verificaram que a firmeza da polpa em mamões, no primeiro dia após a colheita foi de 94,6 N e que esta decresceu significativamente até o sétimo dia após a colheita, quando atingiu o valor de 1,9 N.

Figura 10. Firmeza da polpa em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

Almeida et al. (2005) e Pinto et al. (2011) observaram que a firmeza da polpa de mamões sofreu uma redução drástica nos dois primeiros dias de armazenamento a 20 °C. Oliveira et al. (2015) verificaram que a firmeza da polpa de carambolas diminuiu com o tempo de armazenamento a 10 °C. Entretanto, Qiu, Nishina e Paull (1995) observaram que mamões tratados termicamente não apresentaram amaciamento e mostraram pouca mudança nas quantidades de pectina solúvel durante o amadurecimento. Segundo Lurie e Nussinovitch (1996), o amaciamento da polpa é frequentemente retardado por tratamentos térmicos entre 38 a 40 °C. Já Shellie e Mangan (1994) e Paull e Chen (1990) mencionaram, respectivamente, que esse amaciamento pode ser acelerado ou interrompido por tratamentos entre 45 e 50 °C. Como neste trabalho a imersão dos mamões foi realizada em água quente a 47 °C, o tratamento térmico acelerou o amaciamento dos frutos, reduzindo a firmeza da polpa.

O baixo valor inicial da firmeza da polpa encontrado nos mamões deste trabalho pode ser explicado pelo aparecimento do distúrbio conhecido como DAP (Distúrbio do Amolecimento Precoce de mamões ‘Golden’) após a colheita dos frutos (Jacomino et al., 2010). Segundo estes mesmos autores, o DAP é um distúrbio que diminui o poder de mercado dos mamões, já que afeta consideravelmente sua comercialização por ocorrer de forma generalizada em frutos de um mesmo lote e sem possível identificação prévia. De acordo com Gallon (2010) o aparecimento de DAP ocorre através de uma relação entre o excesso de água na planta e baixos níveis do hormônio auxina no momento da colheita dos frutos. Caron (2014) observou que alterações climáticas somadas ao acúmulo de água por irrigação e precipitação podem ter levado ao aparecimento do DAP em mamões ‘Golden’ devido ao desbalanço hormonal e bioquímico que se formou durante a condição de estresse.

Quando os mamões foram transferidos da refrigeração para o ambiente, a firmeza da polpa decresceu rapidamente, porém nenhuma diferença entre os tratamentos foi encontrada (Figura 10B). Devido ao avanço no processo natural de senescência, ocorre um maior decréscimo na firmeza de mamões (FIGUEIREDO NETO et al., 2013) e pêssegos (SILVA et al., 2013) armazenados a temperatura ambiente quando comparados aos frutos refrigerados. A manutenção de maior firmeza em refrigeração pode ser explicada pela redução da atividade da poligalacturonase, que está relacionada ao amadurecimento. Essa maior firmeza notada nos frutos refrigerados poderá garantir melhor resistência a danos mecânicos durante o manuseio e, conseqüentemente, maior durabilidade dos mamões (DIAS et al., 2011).

Gwanpua et al. (2012) afirmaram que a perda da firmeza da polpa é um dos principais fatores que determina a qualidade e o período de conservação dos frutos. Essa perda está diretamente associada com a dissolução da parede celular (YOSHIOKA; AOBA; KASHIMURA, 1992), através da degradação da lamela média e da parede primária, com conseqüente aumento da pectina solúvel e perda de açúcares neutros não-celulósicos, evidentes nos estádios mais avançados do amadurecimento (JACOMINO et al., 2002). O etileno também está relacionado com a redução na firmeza da polpa de frutos, pois ele ativa enzimas pectinolíticas responsáveis pela transformação da pectina insolúvel em solúvel (LELIÈVRE et al., 1997) e regula positivamente a maioria das enzimas que atuam na degradação da parede celular (GIRARDI et al., 2015) como, por exemplo, a pectinametilesterase, poligalacturonase, endoxilanase, glucanohidrolases, transglucosidases, expansinas e celulasas (KRONGYUT et al., 2011; INIESTRA-GONZÁLEZ et al., 2013).

Stevenson, Domoto e Jane (2006) verificaram que, além da parede celular, o teor de amido e a pressão osmótica também contribuem para a firmeza da polpa. De acordo com Oliveira e Vitória (2011) os frutos de mamoeiro, no início do processo de amadurecimento, apresentam polpa mais firme devido, em parte, à grande presença de células compactas do tipo parenquimáticas no pericarpo, em estado túrgido. Estas células vão perdendo

essas características com a evolução do amadurecimento do fruto, ocorrendo a solubilização da parede celular e a deposição de substâncias pécnicas nos espaços intercelulares (PEREIRA et al., 2009).

A atividade da enzima pectinametilesterase (PME) na polpa dos mamões aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) durante o armazenamento em temperatura ambiente. Os frutos apresentaram atividade enzimática inicial de $4.972 \text{ } \eta\text{mol de NaOH g}^{-1} \text{ de polpa minuto}^{-1}$, atingindo valores máximos de 8.192 e $10.000 \text{ } \eta\text{mol de NaOH g}^{-1} \text{ de polpa minuto}^{-1}$ nos mamões não tratados e tratados, respectivamente, no final do armazenamento (Figura 11A).

Figura 11. Atividade da enzima pectinametilesterase (PME) na polpa de mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22°C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11°C + 3 dias a 22°C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 12$).

Esse aumento da atividade da enzima PME durante o amadurecimento dos mamões analisados também foi observado por outros autores (BRON, 2006; LAZAN; SELAMAT; ALI, 1995; PAULL; CHEN, 1983). Bron (2006) mencionou que o acréscimo na atividade da PME ocorreu em mamões 'Golden' armazenados a 23°C , sendo que essa atividade atingiu valor máximo de $8.000 \text{ } \eta\text{mol de NaOH g}^{-1} \text{ de polpa min}^{-1}$ aos 9 dias de armazenamento, estando bem próximo dos valores encontrados neste trabalho.

Oliveira (1999) constatou que o tratamento hidrotérmico a 47°C por 20 minutos causou amaciamento da polpa em mamões e explicou que a perda de firmeza está associada ao aumento das atividades das enzimas poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e β -galactosidase, sendo estas diretamente alteradas com temperaturas elevadas. Segundo esse mesmo autor, a PG atua na região mais interna do mesocarpo, e as outras duas, na mais externa, e, portanto, o tipo de tratamento térmico pode ter relação com o amaciamento do fruto. Oliveira et al. (2015) também verificaram que a perda de firmeza durante o amadurecimento de carambolas está relacionada com o aumento nas atividades das enzimas PME e β -galactosidase. De acordo com Gallego e Zarra (1998), a solubilização de pectinas e a liberação de resíduos galactosil das galactanas, associadas à celulose, poderiam explicar parcialmente o amaciamento. Em razão da complexidade da estrutura da parede celular, ações coletivas e sinérgica de várias enzimas são necessárias para promover mudanças texturais relevantes, levando ao amaciamento dos frutos (GIOVANNONI, 2001; MWANIKI et al., 2005).

Segundo Lazan, Selamat e Ali (1995) e Lourenço e Catutani (1984), a atividade da PME em mamões eleva-se com o amadurecimento, e esse aumento é acompanhado pela elevação da atividade da enzima

poligalacturonase (PG) e redução na firmeza da polpa. Assim, a atividade da PME facilitaria a atuação da PG, que participa diretamente do processo de amadurecimento dos frutos (BICALHO et al., 2000). A enzima PME participa do processo de amaciamento dos frutos desesterificando o polímero de ácido galacturônico (pectina), enquanto a PG catalisa a hidrólise das ligações β -1,4 entre os resíduos de ácido galacturônico no interior da cadeia de pectina (MANRIQUE; LAJOLO, 2004). Ali, Chin e Lazan (2004) afirmaram que a importância da PME no amaciamento dos frutos é ampliada, quando se considera que ela pode contribuir direta ou indiretamente para a ação de outras, ao criar um ambiente iônico adequado ou, possivelmente, ao modificar a porosidade da parede celular, favorecendo o acesso de outras enzimas aos seus substratos.

Durante o armazenamento refrigerado, a atividade enzimática da PME não diferiu entre os mamões tratados e não tratados termicamente e permaneceu baixa, com valores médios de 593 e 641 ηmol de NaOH g^{-1} de polpa min^{-1} , respectivamente. Quando os frutos foram transferidos para a temperatura de 22 °C, a PME aumentou significativamente ($P \leq 0,05$), sendo que os mamões não tratados apresentaram maiores valores de atividade (9.973 ηmol de NaOH g^{-1} de polpa min^{-1}) quando comparados aos tratados (9.191 ηmol de NaOH g^{-1} de polpa min^{-1}) (Figura 11B). Trevisan (2012), trabalhando com mamões ‘Golden’, verificou que quando os frutos foram transferidos do armazenamento refrigerado para a temperatura de 22 °C, os valores de atividade da enzima aumentaram, ficando entre 4.000 e 6.000 ηmol de NaOH g^{-1} de polpa min^{-1} , valores estes bem abaixo dos encontrados para os mamões deste trabalho. Zhang et al. (2012) verificaram que a atividade da PME aumentou em mangas tratadas e não tratadas termicamente a 55 °C por 10 minutos durante o armazenamento em temperatura ambiente após 3 semanas de armazenamento refrigerado, sendo que os frutos não tratados apresentaram maiores valores de atividade, corroborando as observações feitas para mamões.

O aumento induzido pelo frio na atividade da PME também foi mostrado em tomates (MARANGONI; JACKMAN; STANLEY, 1995) e abacates (GERTMAN; FUCHS, 1974), e esse aumento poderia contribuir para o acréscimo no conteúdo de pectina solúvel. Neste caso, o grupo metil pode ser removido do ácido galacturônico pela ação da PME, fazendo com que as moléculas de pectina tenham mais sítios de ligação para serem solubilizados, levando ao amaciamento dos frutos (KETSA et al., 1999).

Apesar da diferença encontrada na atividade da enzima PME entre os mamões tratados e não tratados termicamente (Figura 11), isso não impactou na firmeza dos frutos (Figura 10). Yimyong et al. (2011), estudando mangas, afirmaram que o tratamento térmico aumentou a transcrição de alguns genes das hidrolases da parede celular durante o armazenamento refrigerado, mas isso não resultou em uma diferença no amaciamento dos frutos quando comparado às mangas não tratadas.

Segundo Lima, Alves e Filgueiras (2006), a atividade total da PME pode diminuir, permanecer constante ou aumentar durante o amadurecimento, pois as mudanças relacionadas a esta enzima estão associadas à presença de isoformas ou inibidores enzimáticos. Outros fatores incluindo cultivar, tratamentos pós-colheita, condição de armazenamento e regulação pós-transcricional podem contribuir para as mudanças do metabolismo da parede celular (ZHANG et al., 2012). Estudos de como estes fatores influenciam a atividade enzimática da PME dos mamões poderia explicar, de forma mais detalhada, o efeito do tratamento térmico e da refrigeração.

Independentemente da condição de armazenamento, ambiente ou refrigeração, a cor da polpa e da casca, expressa em ângulo de cor, e a nota de cor da casca não foram influenciadas pelo tratamento térmico (Tabela 2, Figuras 12, 13, 14 e 15). Tremocoldi et al. (2014) demonstraram que não houve diferença na cor da polpa de abacates tratados e não tratados por hidrotermia, armazenados em temperatura ambiente e sob refrigeração. Mendonça et al. (2015) demonstraram que não houve diferença significativa no ângulo de cor da casca de caquis durante o

armazenamento refrigerado. Segundo Pimentel, Marcondes e Walder (2007), o tratamento hidrotérmico não apresentou efeito sobre a cor interna do mamão. No entanto, Paull e Chen (1990) observaram que o mesocarpo interno de mamões exibe notável desenvolvimento de carotenoides quando a casca está com menos de 10% da cor amarela enquanto o mesocarpo externo não mostra carotenoides. Isso sugere que o mesocarpo interno está em um estágio de amadurecimento mais avançado e neste estágio ele seria mais suscetível ao estresse pelo calor do que a região externa menos madura.

Tabela 2. Cor da polpa e da casca, nota de cor e teor de sólidos solúveis em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

Dias	Cor da Polpa (°H)		Cor da Casca (°H)		Nota de Cor		Sólidos Solúveis (°Brix)	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Armazenamento Ambiente								
0	62,9 aBC	62,9 aC	105,2 aA	105,2 aA	1,2 aD	1,2 aC	11,5 aA	11,5 aA
1	63,8 aABC	64,2 aBC	100,0 bB	104,2 aA	1,7 aD	1,2 bC	10,8 aA	10,8 aAB
2	64,4 aAB	63,6 aBC	97,8 aB	95,5 aB	2,9 aC	3,3 aB	..	..
3	60,9 bC	63,9 aBC	90,4 bC	94,8 aB	3,8 aB	3,4 aB	10,6 aA	10,2 aB
4	62,6 aABC	62,2 aC	82,9 aD	84,4 aC	5,0 aA	5,0 aA	..	..
5	65,5 aA	68,3 aA	79,8 aDE	80,3 aC	5,0 aA	5,0 aA	11,5 aA	11,1 aAB
6	64,5 aABC	66,4 aAB	77,1 aEF	75,3 aD	5,0 aA	5,0 aA	..	..
7	62,2 aABC	62,6 aBC	73,4 aF	74,6 aD	5,0 aA	5,0 aA	10,7 aA	11,0 aAB
Armazenamento Refrigerado								
0	62,9 aB	62,9 aCD	105,2 aA	105,2 aA	1,2 aC	1,2 aC	11,5 aA	11,5 aA
1	63,1 aAB	61,9 aBCD	105,0 aAB	104,0 aA	1,4 aC	1,2 aC	..	..
5	62,3 aB	62,0 aBCD	102,6 aAB	104,9 aA	1,5 aC	1,5 aC	..	..
10	61,7 aB	63,4 aBCD	100,4 aB	101,7 aA	1,6 aC	1,8 aBC	..	..
15	63,8 bAB	68,9 aA	105,2 aAB	103,3 aA	1,7 aBC	1,8 aBC	..	..
20	62,0 aB	60,9 aD	102,7 aAB	102,6 aA	1,8 aBC	1,9 aBC	..	..
21	64,9 aAB	66,7 aAB	94,6 aC	94,0 aB	2,5 aB	2,4 aB	10,8 aB	11,1 aAB
22	66,0 aAB	66,9 aAB	88,6 aD	90,8 aBC	4,0 aA	3,8 aA	10,7 bB	11,4 aAB
23	68,0 aA	66,6 aABC	87,6 aD	88,8 aC	4,6 aA	4,5 aA	11,2 aAB	10,8 aB

Nota: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sem = Frutos sem tratamento térmico; Com = Frutos com tratamento térmico (n = 12).

Sinal convencional utilizado:

.. Não se aplica dado numérico.

Apesar de não observar diferença entre os tratamentos, notou-se evolução da cor da casca dos mamões ao longo do armazenamento ambiente, através do decréscimo do ângulo de cor e do aumento da nota de cor, atingindo até 100% da cor amarela (nota 5) entre o 3º e 4º dias de armazenamento (Tabela 2, Figuras 12 e 13). Ribeiro (2002) verificou a evolução da casca em mamões ‘Formosa’ até o 6º dia de armazenamento, quando apresentavam mais de 50% da cor da amarela. De acordo com Paull et al. (1997) durante o amadurecimento do mamão, a cor amarela da casca desenvolve a partir da extremidade do pedúnculo, enquanto o amaciamento e a cor da polpa desenvolve-se a partir do endocarpo para fora.

Figura 12. Cor da casca de mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C), com umidade relativa média de 85%.

Figura 13. Cor da polpa de mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C), com umidade relativa média de 85%.

Figura 14. Cor da casca de mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C), com umidade relativa média de 85%.

Figura 15. Cor da polpa de mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C), com umidade relativa média de 85%.

Observou-se o efeito do frio, o qual reteve a alteração na cor da casca até o final do armazenamento refrigerado, ou seja, até o 20º dia. A partir deste dia, observou-se decréscimo no ângulo de cor e aumento na nota de cor da casca, refletindo as alterações na coloração dos frutos, indicativas do amadurecimento (Tabela 2, Figuras 14 e 15). Rocha et al. (2005) verificaram que mamões ‘Formosa’ apresentaram desenvolvimento da coloração amarela da casca durante o armazenamento refrigerado a 12 °C e após serem transferidos para a condição ambiente. Souto et al. (2010), estudando abacaxi, verificaram que o ângulo de cor da polpa não foi afetado pelo tratamento térmico, porém a evolução do ângulo de cor indicou amarelecimento, principalmente depois que os frutos foram levados para a condição ambiente. Sob condições refrigeradas, Abeles, Morgan e Saltveit Jr. (1992) observaram que, ao reduzir a temperatura, a degradação de clorofila diminuiu como consequência da redução da produção de etileno, da ação combinada de clorofilases e sistemas oxidativos e da redução do pH pela liberação de ácidos orgânicos do vacúolo celular, o que proporcionou a retenção da cor verde dos mamões.

O tratamento hidrotérmico quarentenário não influenciou o teor de sólidos solúveis nos mamões. Os frutos tratados e não tratados apresentaram, respectivamente, valores médios de 10,9 e 11,0 °Brix durante o armazenamento em temperatura ambiente, e de 11,2 e 11,0 °Brix durante o refrigerado (Tabela 2). Os resultados encontrados neste trabalho foram corroborados pelos demonstrados por Pimentel, Marcondes e Walder (2007), onde o tratamento hidrotérmico não afetou o teor de sólidos solúveis. Albernaz et al. (2003) também não verificaram modificações no mamão com relação ao teor de sólidos solúveis após imersão em água quente por 20 minutos a 48 °C.

De acordo com CHAN Jr. et al. (1979), os açúcares solúveis são acumulados, em sua maior parte, quando o fruto ainda está ligado à planta, provavelmente, em função da fotossíntese. No início do desenvolvimento dos frutos de mamoeiro, a glicose é o açúcar predominante, já em estádios mais avançados, a sacarose torna-se o açúcar encontrado em maior concentração, atingindo teores mais elevados do que a frutose e a glicose, em função da atividade das enzimas invertases.

Apesar de não termos observado diferença na cor da casca dos mamões (tabela 2) entre os tratamentos, o teor de clorofila total diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) entre os frutos tratados e não tratados, independente da condição de armazenamento. Os mamões tratados termicamente apresentaram decréscimo mais lento no teor de clorofila total quando comparados aos não tratados. Esta resposta foi observada nos frutos armazenados em temperatura ambiente (Figura 16A), naqueles sobre armazenamento refrigerado e após a transferência para a condição ambiente (Figura 16B), demonstrando o efeito do tratamento sobre esta variável.

Neves et al. (2008) verificaram que limas ácidas submetidas ao aquecimento intermitente apresentaram coloração predominantemente verde após o período de armazenamento refrigerado, portanto, apresentaram maiores teores de clorofila total. Tian et al. (1997) demonstraram que a imersão em água quente atrasou o amarelecimento de brócolis. Esses estudos corroboram os resultados encontrados nesse trabalho para mamões. Portanto, o tratamento térmico proporcionou a melhor manutenção da clorofila total, potencializando a comercialização dos frutos (NEVES et al., 2008).

No entanto, Klein, Lurie e Ben-Arie (1990) e Chan Jr. e Linse (1989) verificaram que o tratamento térmico levou a uma taxa acelerada de desverdecimento em maçãs e ao amarelecimento de pepino, respectivamente. Lurie e Klein (1991) e Jacobi, Wong e Giles (1996), estudando tomate e abobrinha, respectivamente, verificaram que o conteúdo de clorofila diminuiu durante o tratamento dos frutos com ar quente.

Figura 16. Teor de clorofila total em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 12).

A diferença nas respostas de diferentes produtos ao tratamento térmico pode ser um indicador de que novas enzimas poderiam ser sintetizadas para afetar ou não as mudanças da coloração. No caso da maçã, a degradação da clorofila revela o amarelecimento devido à presença de carotenoides já presentes, enquanto outros frutos podem necessitar da síntese de carotenoides (CHENG et al., 1988). Em bananas, a inibição do desverdecimento durante o tratamento térmico pode ocorrer devido à ausência da enzima clorofila oxidase, resultando na retenção da clorofila na casca (BLACKBOURN; JOHN; JEGER, 1989). Ainda Goldschmidt (1997) relatou que a degradação da clorofila é um evento metabólico que pode ser regulado pela ação do etileno. Sendo assim, a interação entre a mudança de coloração nos frutos e a síntese ou degradação de pigmentos é muito complexa e necessita de mais estudos para que possa ser elucidada.

Houve acréscimo no teor de carotenoides totais dos mamões armazenados em ambas as condições experimentais, apesar de não termos observado diferenças na cor da polpa e da casca dos frutos avaliados. Durante o armazenamento em temperatura ambiente, este acréscimo foi maior ($P \leq 0,05$) nos frutos tratados quando comparados aos não tratados, atingindo valores máximos de 10,0 e 8,1 g de pigmento mg⁻¹ de tecido, respectivamente (Figura 17A). No entanto, a magnitude desse aumento foi menor nos mamões armazenados sob

refrigeração, atingindo valores máximos de 5,4 e 4,4 g de pigmento mg^{-1} de tecido nos frutos não tratados e tratados, respectivamente (Figura 17B).

Cheng et al. (1988) encontraram que o tratamento com ar quente impediu a síntese de licopeno em tomates, devido à inibição da transcrição do mRNA e Lurie et al. (1996) verificaram que essa síntese pode ser recuperada após a remoção do calor. Sozzi, Cascone e Franschina (1996) afirmaram que a síntese de carotenoides é inibida por tratamentos térmicos com temperaturas superiores a 30 °C. Porém, isso não foi verificado nos mamões em estudo, pois os frutos que foram submetidos ao tratamento térmico apresentaram acréscimo nos teores de carotenoides totais. Taiz e Zeiger (2009) afirmaram que a síntese de carotenoides ocorre durante o amadurecimento, atingindo o valor máximo no fruto completamente maduro, o que foi verificado para este trabalho, tanto nos mamões tratados como nos não tratados.

Figura 17. Teor de carotenoides totais em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 12$).

Schweiggert et al. (2011) e Sancho, Yahia e González-Aguilar (2011) verificaram que o conteúdo de carotenoides totais, formado principalmente pelos pigmentos licopeno, β -caroteno, β -criptoxantina e seus ésteres, aumentou constantemente durante o amadurecimento de mamões. Ainda segundo Schweiggert et al. (2011), a coloração alaranjada do mesocarpo durante o amadurecimento do mamão se deve ao acúmulo massivo de carotenoides depositados nos cromoplastos. De acordo com Sancho, Yahia e González-Aguilar (2011), durante o amadurecimento, a clorofila começa a se degradar, coincidindo com a síntese de carotenoides e resultando em um aumento significativo da cor amarelo-alaranjado, sendo que essa cor conferida pelos carotenoides desempenha um importante papel na aceitação do fruto pelo consumidor.

Licopeno e carotenoides são sintetizados pela via dos isoprenoides a partir de 2 moléculas de geranyl-geranyl pirofosfato para formar fitoeno, fitoflueno e ζ -caroteno, que são os produtos intermediários na biossíntese do β -caroteno e das xantofilas. A cor da polpa de mamões é controlada por um único gene, com a cor amarela dominante sobre a vermelha. Nas cultivares de polpa amarela, o licopeno é rapidamente sintetizado em β -caroteno e xantofilas pela licopeno β -ciclase e caroteno hidrolase. Entretanto, o licopeno se acumula nos frutos de polpa vermelha porque o gene da licopeno β -ciclase tem uma mutação funcional (BLAS et al., 2010).

Segundo Fonseca et al. (2007), a relação entre clorofila total e carotenoides totais na casca fornece a informação do balanço entre os pigmentos e sua observação ao longo dos diferentes estádios de amadurecimento propicia informações que caracterizam o mamão ‘Golden’ como mutante de pigmentação do mamão ‘Sunrise Solo’. Ainda de acordo com estes autores, é difícil estabelecer um padrão de coloração para o mamão ‘Golden’, pois o índice de variação da cor da casca como referência de estágio de amadurecimento não é uma característica adequada para a sua classificação. Essa distinção de coloração pode possibilitar a inclusão de frutos mais maduros em lotes contendo frutos menos desenvolvidos fisiologicamente, provocando desuniformidade e forçando o amadurecimento prévio de frutos, reduzindo a vida de pós-colheita.

Na análise de compostos voláteis foram identificados 19 compostos, sendo descritos os odores de cada um deles (Tabela 3). Os compostos 2-etilhexanol, metilisohehexenil cetona, decanal, nonanal, benzil nitrila, benzil-isotiocianato e óxido de linalool foram identificados nos mamões tratados e não tratados termicamente, tendo apenas variação na sua concentração.

Tabela 3. Compostos voláteis em mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (0 e 7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (0, 20 dias a 11 °C e 23 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

Substância Identificada	Número CAS	Descrição do Odor
Hexanal	000066-25-1	Grama, sebo, gordura
Linalool	000078-70-6	Floral, lavanda
Metil benzoate	000093-58-3	Ameixa, alface, herbáceo, doce
Etil benzoate	000093-89-0	Camomila, floral, frutal
2-etilhexanol	000104-76-7	Rosa, verde
Geraniol	000106-24-1	Rosa, gerânio
Metil heptanoato	000106-73-0	Doce, frutal, verde
Tolueno	000108-88-3	Doce
Metilisohehexenil cetona	000110-93-0	Picante, cogumelo, borracha
Octanol	000111-87-5	Químico, metal, queimado
Decanal	000112-31-2	Sabão, laranja, sebo
Nonanal	000124-19-6	Gordura, cítrico, verde
Benzil nitrila	000140-29-4	Pimenta, floral
Benzil-isotiocianato	000622-78-6	Agrião, gordura
Metil-dietilditiocarbamato	000686-07-7	N.E
Geranil acetona-cis	000689-67-8	Planta, verde
Óxido de linalool 1	005989-33-3	Floral
Epoxilinalool	014049-11-7	Floral
Hotrienol	029957-43-5	Jacinto, fúngico

Fonte: <http://www.thegoodscentcompany.com/>.

Nota: Para os óxidos de linalool detectados, que possuem isômeros *cis* e *trans*, não foi possível diferenciá-los, e então foi utilizada a denominação óxido de linalool 1. N.E = não encontrado.

Cada composto identificado foi tratado como uma variável. As áreas obtidas através dos cromatogramas foram normalizadas pela média das replicatas analisadas (normalização interna) de cada dia amostrado. Esse conjunto de dados foi utilizado para obter os componentes principais. Entre os componentes obtidos foram selecionados os

fatores 1 e 2, que juntos explicavam 63,7% da variabilidade existente entre as amostras, sendo 35,8% correspondente ao fator 1 e 27,9% ao 2.

A figura 18 representa os compostos identificados na tabela 3 projetados na forma de vetores, onde a decomposição de cada vetor indica o quanto aquela substância é significativa para a diferenciação dos mamões em estudo. Vetores com maior decomposição sobre o eixo, ou seja, maior distância em relação ao centro, indicam que aquela variável é mais significativa, sendo o contrário verdadeiro.

Figura 18. Análise de componentes principais (PCA) obtida através das áreas normalizadas dos compostos voláteis identificados em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (0 e 7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (0, 20 dias a 11 °C e 23 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

A figura 19 representa a disposição dos mamões tratados e não tratados termicamente, armazenados em temperatura ambiente e sob refrigeração, sobre os fatores 1 e 2, mostrados na figura 18, a partir dos compostos identificados na tabela 3. Os compostos hexanal, 2-etilhexanol, metil heptanoato, tolueno, metilisoctenil cetona, octanol, decanal, nonanal, benzil nitrila, benzil-isotiocianato, metil-dietilditiocarbamato e geranil acetona-cis, pertencentes ao quadrante Q₁, caracterizaram os mamões do dia 0 (Figura 19).

Houve uma pequena separação entre os mamões tratados e não tratados, independente da condição de armazenamento, porém estes frutos ficaram dispostos nos mesmos quadrantes, indicando que o tratamento térmico não interferiu nos compostos voláteis (Figura 19). Ainda observou-se que duas amostras estavam localizadas distante das demais, no entanto não foi possível identificar o motivo para este comportamento e afirmar se houve influência do tratamento ou uma amostragem não representativa (Figura 19).

Kerbel, Mitchell e Mayer (1987) e Fallik et al. (1997), estudando abacates e maçãs, respectivamente, verificaram que houve diminuição nos compostos voláteis dos frutos submetidos ao tratamento hidrotérmico. Esses

trabalhos contradizem os resultados encontrados para os mamões avaliados, onde o tratamento térmico não influenciou os compostos voláteis presentes nos frutos.

Figura 19. Distribuição das amostras sobre os componentes principais obtidos a partir da área normalizada dos compostos identificados em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (0 e 7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (0, 20 dias a 11 °C e 23 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

No 7º dia de armazenamento em temperatura ambiente os mamões foram caracterizados pelos compostos linalool, geraniol, óxido de linalool 1, epoxilinalool e hotrienol, pertencentes ao quadrante Q₂. Isto indica que esses compostos estão presentes em maiores quantidades nestes frutos e estão relacionados ao amadurecimento, já que neste dia os mamões já se apresentavam completamente maduros (Figuras 18 e 19).

Flath e Forrey (1977), estudando compostos voláteis de mamão, identificaram diferentes classes de substâncias, incluindo hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, lactonas e terpenos, sendo que o linalool e o isotiocianato de benzila foram detectados como os compostos mais abundantes. Flath et al. (1990) verificaram que vários ésteres e monoterpenos apareceram apenas no mamão maduro e o linalool, seguido de seus óxidos, acetato de etila, fenilacetoneitrila e isotiocianato de benzila foram encontrados em todos os estádios, com aumento progressivo nas suas concentrações durante o amadurecimento do fruto.

Pino, Almora e Marbot (2003) identificaram 166 compostos voláteis no aroma de mamões maduros, sendo que metil butanoato, etil butanoato, 3-metil-1-butanol e 1-butanol foram os principais componentes encontrados. Almora et al. (2004), estudando mamões var. 'Maradol roja', verificaram que alguns compostos como linalool, ácido dodecanoico, metil butanoato, etil hexanoato e etil dodecanoato aumentaram suas concentrações, enquanto a concentração de benzil isotiocianato decresceu durante o amadurecimentos dos frutos.

Os mamões tratados e não tratados termicamente, armazenados no frio por 20 dias, se agruparam no quadrante Q₄, e foram caracterizados pelos compostos metil benzoato e etil benzoato. Já os frutos de ambos os tratamentos armazenados sob refrigeração por 20 dias e transferidos para temperatura ambiente por mais 3 dias, totalizando 23 dias de armazenamento, se agruparam no quadrante Q₃ e não tiveram nenhum composto identificado. A distância desses frutos do vetor do linalool, pertencente ao quadrante Q₂, indica perda no aroma característico do fruto, que pode estar relacionada com o armazenamento refrigerado. Mesmo após a transferência para a temperatura ambiente a perda do aroma ocorreu de forma irreversível (Figuras 18 e 19).

Não houve diferença entre os mamões tratados e não tratados termicamente, independente da condição de armazenamento, com relação à quantidade de linalool (Figura 20), o que confirma os resultados anteriores onde o tratamento térmico não interferiu nos compostos voláteis dos frutos (Figura 19). A produção de linalool aumentou nos mamões armazenados em temperatura ambiente durante o amadurecimento (Figura 20A). Já nos frutos armazenados sob refrigeração a produção desse composto diminuiu drasticamente (Figura 20B), corroborando que o frio influencia de maneira negativa a produção de compostos voláteis, alterando o aroma dos mamões.

Figura 20. Perfil comparativo de área normalizada de linalool em mamões 'Golden' submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (0 e 7 dias a 22 °C) (A) e sob refrigeração (0, 20 dias a 11 °C e 23 dias a 22 °C) (B), ambos com umidade relativa média de 85%.

Diversos autores relataram a influência negativa do armazenamento refrigerado sobre a produção de compostos voláteis em maçãs (ECHEVERRÍA et al., 2004), mangas (SHIVASHANKARA et al., 2006), pêssegos (INFANTE; FARCUH; MENESES, 2008) e ameixas (LOUW; THERON, 2012). Defilippi et al. (2009) verificaram que houve redução dos níveis de transcritos de alguns enzimas, como álcool desidrogenases, hidroperóxido liases e lipoxigenases, todas envolvidas com a biossíntese de compostos aromáticos em pêssegos. Ainda segundo estes autores, o frio influencia a formação dos compostos voláteis devido às mudanças na produção de etileno, que podem estar envolvidas com a expressão de genes relacionados ao aroma. Sivakumar e Wall (2013) afirmaram que múltiplas enzimas envolvidas na síntese de etileno, carboidratos, ácidos orgânicos, carotenoides e compostos voláteis são inibidas em baixas temperaturas e, consequentemente, as mudanças relacionadas ao amadurecimento como cor, sabor, textura e aroma são retardadas.

O efeito do frio sobre a produção de linalool foi observado por Louw e Theron (2012), que verificaram uma diminuição nas concentrações de linalool e dos óxidos *cis* e *trans* de linalool em ameixas armazenadas a baixas

temperaturas. Tietel et al. (2012), estudando tangerinas armazenadas no frio, observaram que houve mudanças nos perfis de voláteis, com diminuição na concentração do linalool e aumento na concentração do óxido *cis* de linalool, sendo que estas alterações foram perceptíveis na análise sensorial, reduzindo a aceitação dos frutos pelos provadores.

Bai et al. (2011) verificaram que o armazenamento refrigerado regulou negativamente a expressão de genes que codificam enzimas ligadas a produção de voláteis em tomates, resultando em diminuição de compostos voláteis importantes, entre eles hexanal e hexanol. Rugkong et al. (2011) observaram que não somente a expressão de genes relacionados ao aroma tiveram a expressão diminuída pelas baixas temperaturas, mas também genes envolvidos na produção de etileno e transdução de sinal, alterando assim o amadurecimento do tomate como um todo.

A análise sensorial demonstrou que houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre os tratamentos nas duas condições de armazenamento, sendo que os mamões tratados termicamente foram preferidos em relação ao sabor e à textura. O sabor foi avaliado como adocicado e relacionado a um fruto maduro e ótimo para o consumo, correspondendo a “gostei regularmente” (nota 7) tendendo ao “gostei muito” (nota 8) na escala de preferência e aceitação. A textura foi caracterizada como macia, ideal para o consumo, correspondendo a “gostei regularmente” (nota 7) (Tabela 4).

Tabela 4. Análise sensorial de mamões ‘Golden’ submetidos ou não ao tratamento hidrotérmico e armazenados em temperatura ambiente (7 dias a 22 °C) e sob refrigeração (20 dias a 11 °C + 3 dias a 22 °C), ambos com umidade relativa média de 85%.

Atributo	Armazenamento Ambiente		Armazenamento Refrigerado	
	Sem	Com	Sem	Com
Cor	6,9 a	7,2 a	6,9 a	7,1 a
Aroma	7,2 a	7,4 a	6,7 a	6,7 a
Sabor	6,8 b	7,5 a	6,1 b	7,7 a
Textura	6,7 b	7,4 a	6,4 b	7,5 a

Nota: Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Escala estruturada de nove pontos, onde 1 = desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente. Sem = Frutos sem tratamento térmico; Com = Frutos com tratamento térmico (n = 12).

Apesar de não termos encontrado diferenças significantes entre a firmeza (Figura 10) e o teor de sólidos solúveis (Tabela 2) dos mamões tratados e não tratados termicamente, a análise sensorial demonstrou que o tratamento térmico influenciou os atributos sabor e textura (Tabela 4), mostrando que a aplicação dessa técnica melhora as características organolépticas dos frutos. Segundo Gomez, Lajolo e Cordenunsi (2002), o sabor dos mamões está relacionado às perdas de firmeza do fruto e às mudanças texturais, sendo observada uma correlação direta entre o tempo de mastigação e a percepção do sabor.

Santana, Matsuura e Cardoso (2004) afirmaram que o balanço entre os conteúdos de ácidos orgânicos e os de açúcares exercem importante contribuição para a qualidade de sabor dos mamões. Ainda segundo estes autores, o nível de ácidos orgânicos nesses frutos é notadamente baixo. No entanto, o alto teor de açúcares encontrado na polpa dos mamões em estudo (Tabela 2) atribuiu um sabor adocicado predominantemente agradável.

Os atributos cor e aroma não apresentaram diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre os mamões tratados e não tratados, independente da condição de armazenamento. A cor foi caracterizada como muito

amarelada/alaranjada, correspondendo a “gostei regularmente” (nota 7) na escala de preferência e aceitação, para os mamões de ambas as condições de armazenamento. O aroma, por sua vez, sofreu influência do frio, pois ele foi caracterizado como fraco ou mesmo imperceptível, correspondendo a “gostei ligeiramente” (nota 6) tendendo a “gostei regularmente” (nota 7) para os mamões armazenados sob refrigeração. Já para os frutos armazenados em temperatura ambiente o aroma foi avaliado como intenso e característico de um fruto maduro, correspondendo a “gostei regularmente” (nota 7) (Tabela 4).

Os resultados encontrados para cor da polpa e aroma na análise sensorial (Tabela 4) corroboram aqueles demonstrados anteriormente (Tabela 2, Figuras 19 e 20), indicando que o tratamento térmico não exerce nenhuma influência sobre essas características dos mamões. Também observamos que o frio afetou de maneira negativa os compostos voláteis dos frutos (Figuras 19 e 20) e isto se refletiu na análise sensorial (Tabela 4).

Almora et al. (2004), estudando mamões var. ‘Maradol roja’, verificaram que os atributos sensoriais cor da polpa, aroma e sabor aumentaram, enquanto a firmeza decresceu durante o amadurecimento. Como a firmeza é um atributo de qualidade importante, tanto para o manejo dos frutos, quanto para a aceitação pelo consumidor (CUQUEL; OLIVEIRA; LAVORANTI, 2012), seria interessante que o tratamento hidrotérmico quarentenário conseguisse reter as alterações que ocorrem nessa característica durante o amadurecimento dos mamões.

Sivakumar e Wall (2013) afirmaram que a textura do fruto é comercialmente importante, afetando diretamente a vida de prateleira dos mamões, qualidade e aceitação dos consumidores. Esses autores ainda verificaram que mamões tratados com água quente tiveram problemas de qualidade como sabor fraco e textura granulosa, o que não foi encontrado neste trabalho.

Quanto ao perfil dos provadores, observou-se que 66% destes pertenciam à faixa de 18 a 25 anos, o que era esperado já que a maioria dos participantes da análise sensorial foi composta de estudantes da universidade que se encontravam nesta faixa etária. Dos 34% restantes, 14% pertenciam à faixa de 25 a 35 anos, 16% acima de 35 anos e 4% até 18 anos.

Com relação à intenção de compra, 48% dos provadores disseram que comprariam o mamão não tratado termicamente, 36% mostraram-se indecisos indicando que “talvez” poderiam adquirir o fruto e 16% disseram que não o comprariam. Já em relação ao mamão tratado, 78% dos provadores responderam que certamente comprariam o fruto apresentado, 20% afirmaram que talvez pudessem adquirir o produto e 2% responderam que não o comprariam. Os provadores preferiram adquirir o mamão tratado devido aos seus resultados superiores para sabor e textura (Tabela 4).

Sobre o consumo, 60% dos provadores afirmaram consumir mamão de vez em quando (1 a 3 vezes por semana), 22% disseram que consomem o fruto raramente (uma vez por mês), 16% responderam que consomem diariamente e 2% disseram que nunca consomem o fruto. Apesar de o Brasil ser o segundo maior produtor de mamão do mundo (FAOSTAT, 2016), o consumo do fruto é baixo, o que pode ser explicado devido à cultura ou ao costume por parte dos provadores.

4.4. Considerações Finais

O tratamento hidrotérmico quarentenário, associado ao armazenamento refrigerado, não influenciou a firmeza da polpa, o teor de sólidos solúveis e a cor da polpa e da casca dos mamões. Houve apenas evolução da cor e redução da firmeza devido ao processo natural de amadurecimento, sendo que o frio reteve essas alterações até o momento em que os frutos foram transferidos para a condição ambiente.

A atividade da enzima pectinametilesterase (PME) aumentou durante o período de armazenamento ambiente, sendo que o tratamento térmico potencializou este acréscimo. Porém, o frio reduziu consideravelmente a atividade enzimática, sendo que, após transferência dos frutos para a condição ambiente, os mamões tratados apresentaram menos atividade da PME. Isso demonstra a importância da associação do tratamento térmico com o armazenamento refrigerado durante a pós-colheita do mamão porque reduz a atividade da enzima PME, que está diretamente ligada à perda da firmeza do fruto.

A aplicação do tratamento térmico isoladamente aumentou a produção de carotenoides dos mamões. No entanto, quando associado ao armazenamento refrigerado, os tratamentos retardaram a síntese de carotenoides e a degradação de clorofila, aumentando o período de comercialização dos frutos.

O tratamento hidrotérmico quarentenário potencializou o sabor e a textura dos mamões, sem alterar os compostos voláteis, fazendo com que estes frutos fossem preferidos pelos consumidores. Já o armazenamento refrigerado afetou negativamente os compostos voláteis dos mamões, interferindo no aroma dos frutos.

Referências

- ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT Jr., M. E. **Ethylene in Plant Biology**. 2.ed. New York: Academic Press, 1992. 414 p.
- ALBERNAZ, D. de F.; MIRANDA, S. de P.; FAGUNDES, G.R.; YAMANISHI, O.K. Efeito do tratamento hidrotérmico na qualidade e vida pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.), cv. Golden, produzido no Oeste da Bahia. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, San Jose, v. 47, p. 228-230, 2003.
- ALI, Z.M.; CHIN, L-H.; LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**, Amsterdam, v. 167, n. 2, p. 317-327, Aug. 2004.
- ALMEIDA, R.F. de; RESENDE, E.D. de; VITORAZI, L.; CARLOS, L. de A.; PINTO, L.K. de A.; SILVA, H.R.F. da; MARTINS, M.L.L. Injúria pelo frio em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 17-20, abr. 2005.
- ALMORA, K.; PINO, J.A.; HERNÁNDEZ, M.; DUARTE, C.; GONZÁLEZ, J.; RONCAL, E. Evaluation of volatiles from ripening papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol roja). **Food Chemistry**, Barking, v. 86, n. 1, p. 127-130, Jun. 2004.
- BAI, J.; BALDWIN, E.A.; IMAHORI, Y.; KOSTENYUK, I.; BURNS, J.; BRECHT, J.K. Chilling and heating may regulate C6 volatile aroma production by different mechanisms in tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 111-120, May 2011.

- BICALHO, U. de O.; CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F.; COELHO, A.H.R. Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagem de PVC. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 136-146, jan/mar. 2000.
- BLACKBOURN, H.; JOHN, P.; JEGER, M. The effect of high temperature on degreening in ripening bananas. **Acta Horticulturae**, Korbek-Lo, v. 1, n. 258, p. 271-278, Dec. 1989.
- BLAS, A.L.; MING, R.; LIU, Z.; VEATCH, O.J.; PAULL, R.E.; MOORE, P.H.; YU, Q. Cloning of the papaya chromoplast-specific lycopene β -cyclase, *CpCYC-b*, controlling fruit flesh color reveals conserved microsynteny and a recombination hot spot. **Plant Physiology**, Rockville, v. 152, n. 4, p. 2013-2022, Apr. 2010.
- BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M. Matéria-prima. In: MEDINA, J.C. (Ed.). **Mamão: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2. ed. Campinas: ITAL, 1995. p. 179-254.
- BRON, I.U. **Armazenamento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado**. 2006. 66 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- CARON, V.C. **Estudo da relação entre o amolecimento precoce de mamões 'Golden' e aspectos climáticos, nutricionais e hormonais**. 2014. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M. de. **Manual técnico de análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121 p.
- CHAN Jr., H.T.; LINSE, E. Conditioning cucumbers for quarantine heat treatments. **HortScience**, Alexandria, v. 24, p. 985-989, 1989.
- CHAN Jr., H.T.; HIBBARD, K.L.; GOO, T.; AKAMINE, E.K. Sugar composition of papayas during fruit development. **HortScience**, Alexandria, v. 14, n. 3, p. 140-141, 1979.
- CHENG, T-S.; FLOROS, J.D.; SHEWFELT, R.L.; CHANG, C.J. The effect of high-temperature stress on ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 132, n. 4, p. 459-464, May 1988.
- COSTA, A.F.S.; PACOVA, B.E.V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. (Eds.). **A cultura do mamão: tecnologia e produção**. Vitória: Incaper, 2003. p. 59-102.
- CUQUEL, F.L.; OLIVEIRA, C.F.S. de; LAVORANTI, O.J. Sensory profile of eleven peach cultivars. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 70-75, jan/mar. 2012.

- DEFILIPPI, B.G.; MANRÍQUEZ, D.; LUENGWILAI, K.; GONZÁLEZ-AGÜERO, M. Aroma volatiles: biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening. **Advances in Botanical Research**, Amsterdam, v. 50, p. 1-37, Apr/Jun. 2009.
- DIAS, T.C.; MOTA, W.F. da; OTONI, B. da S.; MIZOBUTSI, G.P.; SANTOS, M.G.P. dos. Conservação pós-colheita de mamão Formosa com filme de PVC e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 666-670, jun. 2011.
- ECHEVERRÍA, G.; FUENTES, M.T.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M.L. Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of Fuji apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 1, p. 5-20, Jan. 2004.
- FALLIK, E.; ARCHBOLD, D.D.; HAMILTON-KEMP, T.R.; LOUGHRIN, J.H.; COLLINS, R.W. Heat treatment temporarily inhibits aroma volatile compound emission from Golden Delicious apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 10, p. 4038-4041, Oct. 1997.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/e>. Acesso em: 19 de julho de 2016.
- FIGUEIREDO NETO, A.; OLIVIER, N.C.; ROJAS, A.B.G.; SILVA, J.C.; PADILHA, C. Avaliação pós-colheita de mamão variedade 'Formosa' submetido a danos mecânicos e ensaios de compressão durante o armazenamento. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, San José de las Lajas, v. 22, n. 2, p. 5-10, abr/jun. 2013.
- FLATH, R.A.; FORREY, R.R. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L., Solo variety). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 25, n. 1, p. 103-109, Jan. 1977.
- FLATH, R.A.; LIGHT, D.M.; JANG, E.B.; RICHARD MON, T.; JOHN, J.O. Headspace examination of volatile emissions from ripening papaya (*Carica papaya* L., Solo variety). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 38, n. 4, p. 1060-1063, Apr. 1990.
- FONSECA, M.J. de O.; LEAL, N.R.; CENCI, S.A.; CECON, P.R.; BRESSAN-SMITH, R.E.; BALBINO, J.M. de S. Evolução dos pigmentos durante o amadurecimento de mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 451-455, dez. 2007.
- FUGGATE, P.; WONGS-AREE, C.; NOICHINDA, S.; KANLAYANARAT, S. Quality and volatile attributes of attached and detached 'Pluk Mai Lie' papaya during fruit ripening. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 126, n. 2, p. 120-129, Sep. 2010.
- GALLEGO, P.P.; ZARRA, I. Cell wall autolysis during kiwifruit development. **Annals of Botany**, London, v. 81, n. 1, p. 91-96, Jan. 1998.

- GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões 'Golden'**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- GERTMAN, E.; FUCHS, Y. Changes in pectinmethylesterase (PME) activity caused by ethylene applied at different temperatures. **Plant and Cell Physiology**, London, v. 15, n. 3, p. 501-505, Jun. 1974.
- GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 52, p. 725-749, Jun. 2001.
- GIRARDI, C.L.; PEGORARO, C.; CRIZEL, G.; STORCH, T.T.; ZANUS, M.C. Conservação da qualidade pós-colheita de maçãs. **Circular Técnica 114**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2015. 16 p.
- GOLDSCHMIDT, E.E. Ripening of citrus and other non-climacteric fruits: a role for ethylene. **Acta Horticulturae**, Korbek-Lo, v. 1, n. 463, p. 335-340, Jan. 1998.
- GOMES, B.L. **Efeitos da conservação de frutos de mamão (*Carica papaya* cv. Golden) à baixa temperatura sobre a biossíntese de compostos voláteis constituintes**. 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- GOMEZ, M.; LAJOLO, F.; CORDENUNSI, B. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 1, p. 442-447, Jan. 2002.
- GWANPUA, S.G.; VERLINDEN, B.E.; HERTOOG, M.L.A.T.M.; BULENS, I.; VAN DE POEL, B.; VAN IMPE, J.; NICOLAÏ, B.M.; GEERAERD, A.H. Kinetic modeling of firmness breakdown in 'Braeburn' apples stored under different controlled atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 68-74, May 2012.
- HEIDLAS, J.; LEHR, M.; IDSTEIN, H.; SCHREIER, P. Free and bound terpene compounds in papaya (*Carica papaya* L.) fruit pulp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 32, n. 5, p. 1020-1021, Sep. 1984.
- INFANTE, R.; FARCUH, M.; MENESES, C. Monitoring the sensorial quality and aroma through an electronic nose in peaches during cold storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 88, n. 12, p. 2073-2078, Sep. 2008.
- INIESTRA-GONZÁLEZ, J.J.; LINO-LÓPEZ, G.J.; PAULL, R.E.; DE LA ROSA, A.P.B.; MANCILLA-MARGALLI, N.A.; SAÑUDO-BARAJAS, J.A.; IBARRA-JUNQUERA, V.; CHEN, N.J.; HERNÁNDEZ-VELASCO, M.Á.; OSUNA-CASTRO, J.A. Papaya endoxylanase biochemical characterization and isoforms expressed during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 13-22, Jul. 2013.

- JACOBI, K.K.; WONG, L.S.; GILES, J.E. Postharvest quality of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) following high humidity hot air disinfestation treatments and cool storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 7, n. 4, p. 309-316, Mar. 1996.
- JACOMINO, A.P.; GALLON, C.Z.; DIAS, I.S.; PEREIRA, W.S.P. Characterization and occurrence of early softening disorder in 'Golden' papaya fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1261-1266, dez. 2010.
- JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R. de C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, abr/jun. 2002.
- KERBEL, E.L.; MITCHELL, F.G.; MAYER, G. Effect of postharvest heat treatment for insect control on the quality and market life of avocados. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 1, p. 92-94, 1987.
- KERTESZ, Z.I. Pectic enzymes. In: KERTESZ, Z.I. (Ed.). **The pectic substances**. New York: Interscience, 1951. p. 333-375.
- KETSA, S.; CHIDTRAGOOL, S.; KLEIN, J.D.; LURIE, S. Firmness, pectin components and cell wall hydrolases of mango fruit following low-temperature stress. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, London, v. 74, n. 6, p. 685-689, Nov/Dec. 1999.
- KLEIN, J.D.; LURIE, S.; BEN-ARIE, R. Quality and cell wall components of 'Anna' and 'Granny Smith' apples treated with heat, calcium and ethylene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 6, p. 954-958, Nov. 1990.
- KRONGYUT, W.; SRILAONG, V.; UTHAIRATANAKIJ, A.; WONGS-AREE, C.; ESGUERRA, E.B.; KANLAYANARAT, S. Physiological changes and cell wall degradation in papaya fruits cv. 'Kaek Dum' and 'Red Maradol' treated with 1-methylcyclopropene. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 18, n. 4, p. 1251-1259, 2011.
- LAZAN, H.; SELAMAT, M.K.; ALI, Z.M. β -galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, n. 1, p. 106-112, Jan. 1995.
- LELIÈVRE, J-M.; LATCHÈ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J-C. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, n. 4, p. 727-739, Dec. 1997.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, Amsterdam, v. 148, n. 22, p. 350-382, 1987.

- LIMA, M.A.C. de; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C. Mudanças relacionadas ao amaciamento da graviola durante a maturação pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1707-1713, dez. 2006.
- LOURENÇO, E.J.; CATUTANI, A.T. Purification and properties of pectinesterase from papaya. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 35, n. 10, p. 1120-1127, Oct. 1984.
- LOUW, E.D.; THERON, K.I. Volatile dynamics during maturation, ripening and cold storage of three Japanese plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 70, n. 1, p. 13-24, Aug. 2012.
- LURIE, S. Postharvest heat treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 257-269, Nov. 1998.
- LURIE, S.; HANDROS, A.; FALLIK, E.; SHAPIRA, R. Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. **Plant Physiology**, Rockville, v. 110, n. 4, p. 1207-1214, Apr. 1996.
- LURIE, S.; KLEIN, J.D. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, n. 6, p. 1007-1012, Nov. 1991.
- LURIE, S.; NUSSINOVITCH, A. Compression characteristic, firmness, and texture perception of heat treated and unheated apples. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 1-5, Feb. 1996.
- MACLEOD, A.J.; PIERIS, N.M. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L.) with particular reference to glucosinolate products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 31, n. 5, p. 1005-1008, Sep. 1983.
- MANRIQUE, G.D.; LAJOLO, F.M. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 11-26, Jul. 2004.
- MARANGONI, A.G.; JACKMAN, R.L.; STANLEY, D.W. Chilling-associated softening of tomato fruit is related to increased pectinmethylesterase activity. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p. 1277-1281, Nov. 1995.
- MARÍN-LOAÍZA, J.C.; CÉSPEDES, C.L. Compuestos volátiles de plantas: origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 30, n. 4, p. 327-351, oct/dic. 2007.
- McGRATH, M.J.; KARAHADIAN, C. Evaluation of physical, chemical, and sensory properties of pawpaw fruit (*Asimina triloba*) as indicators of ripeness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 4, p. 968-974, Apr. 1994.

- MENDONÇA, V.Z. de; DAIUTO, E.R.; FURLANETO, K.A.; RAMOS, J.A.; FUJITA, E.; VIEITES, R.L.; TECCHIO, M.A.; CARVALHO, L.R. de. Aspectos físico-químicos e bioquímicos durante o armazenamento refrigerado do caqui em atmosfera modificada passiva. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 16-21, jan/mar. 2015.
- MWANIKI, M.W.; MATHOOKO, F.M.; MATSUZAKI, M.; HIWASA, K.; TATEISHI, A.; USHIJIMA, K.; NAKANO, R.; INABA, A.; KUBO, Y. Expression characteristics of seven members of the β -galactosidase gene family in 'La France' pear (*Pyrus communis* L.) fruit during growth and their regulation by 1-methylcyclopropene during postharvest ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 36, n. 3, p. 253-263, Jun. 2005.
- NEVES, L.C.; BENEDETTE, R.M.; SILVA, V.X. da; VIEITES, R.L.; ROBERTO, S.R. Dano de frio em limas-ácidas Tahiti, colhidas em diferentes épocas e submetidas a tratamentos térmicos e bioquímicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 377-384, jun. 2008.
- OLIVEIRA, F.A.M.B. **Comportamento térmico e qualidade pós-colheita do mamão submetido a radiação de microondas e a hidrotermia**. 1999. 51 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- OLIVEIRA, J.G. de; VITÓRIA, A.P. Papaya: nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. **Food Research International**, Amsterdam, v. 44, n. 5, p. 1306-1313, Jun. 2011.
- OLIVEIRA, T.A. de; AROUCHA, E.M.M.; LEITE, R.H. de L.; FERREIRA, R.M. de A.; SANTOS, F.K.G. dos. Conservação pós-colheita de carambola sob refrigeração com recobrimento de biofilme de gelatina e PVC. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 4, p. 59-66, out/dez. 2015.
- ORTEGA, A.; PINO ALEA, J.A. Los constituyentes volátiles de las frutas tropicales. II. Frutas de las especies de Carica. **Alimentaria: Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos**, La Rioja, n. 286, p. 27-40, 1997.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v. 72, n. 2, p. 382-385, Jun. 1983.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat shock response in field-grown, ripening papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 4, p. 623-631, Jul. 1990.
- PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Heat treatment and fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 21-37, Dec. 2000.

- PAULL, R.E.; NISHIJIMA, W.; REYES, M.; CAVALETTO, C. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 165-179, Jul. 1997.
- PEREIRA, T.; ALMEIDA, P.S.G. de; AZEVEDO, I.G. de; CUNHA, M. da; OLIVEIRA, J.G. de; SILVA, M.G. da; VARGAS, H. Gas diffusion in 'Golden' papaya fruit at different maturity stages. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 123-130, Dec. 2009.
- PIMENTEL, R.M. de A.; MARCONDES, Y.E. de M.; WALDER, J.M.M. Qualidade do mamão cv. Solo submetido ao choque térmico e tratamento quarentenário por radiação gama. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 483-487, dez. 2007.
- PINO, J.A.; ALMORA, K.; MARBOT, R. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L., Maradol variety) fruit. **Flavour and Fragrance Journal**, London, v. 18, n. 6, p. 492-496, Nov. 2003.
- PINTO, L.K. de A.; MARTINS, M.L.L.; RESENDE, E.D. de; THIÉBAUT, J.T.L. Atividade da pectina metilesterase e da β -galactosidase durante o amadurecimento do mamão cv. Golden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 713-722, set. 2011.
- PROCTOR, F.J.; CAYGILL, J.C. Ethylene in commercial postharvest handling of tropical fruit. In: PROCTOR, F.J. (Ed.). **Ethylene and plant development**. London: Butterworth Scientific, 1985. p. 317-322.
- QIU, Y.; NISHINA, M.S.; PAULL, R.E. Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 2, p. 246-253, Mar. 1995.
- RIBEIRO, M.D. **Estudos preliminares do comportamento do mamão Formosa armazenado em condições ambientais**. 2002. 39 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2002.
- ROCHA, R.H.C.; NASCIMENTO, S.R. de C.; MENEZES, J.B.; NUNES, G.H. de S.; SILVA, E. de O. Qualidade pós-colheita do mamão Formosa armazenado sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 386-389, dez. 2005.
- RUGKONG, A.; MCQUINN, R.; GIOVANNONI, J.J.; ROSE, J.K.C.; WATKINS, C.B. Expression of ripening-related genes in cold-stored tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 1-14, Jul. 2011.
- SANCHO, L.E.G-G.; YAHIA, E.M.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI. **Food Research International**, Amsterdam, v. 44, n. 5, p. 1284-1291, Jun. 2011.

- SANTANA, L.R.R.; MATSUURA, F.C.A.U.; CARDOSO, R.L. Genótipos melhorados de mamão (*Carica papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 217-222, abr/jun. 2004.
- SCHWEIGGERT, R.M.; STEINGASS, C.B.; HELLER, A.; ESQUIVEL, P.; CARLE, R. Characterization of chromoplasts and carotenoids of red- and yellow-fleshed papaya (*Carica papaya* L.). **Planta**, Berlin, v. 234, n. 5, p. 1031-1044, Nov. 2011.
- SHELLIE, K.C.; MANGAN, R.L. Postharvest quality of 'Valencia' orange after exposure to hot, moist, forced air for fruit fly disinfestation. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 12, p. 1524-1527, Dec. 1994.
- SHIOTA, H. Volatile components of pawpaw fruit (*Asimina triloba* Dunal). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 9, p. 1631-1635, Sep. 1991.
- SHIVASHANKARA, K.S.; ISOBE, S.; HORITA, H.; TAKENAKA, M.; SHIINA, T. Volatile aromatic constituents of tree ripened and mature green 'Irwin' mango fruits during low temperature storage. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Osaka, v. 75, n. 3, p. 209-212, May/Jun. 2006.
- SILVA, D.F.P.; RIBEIRO, M.R.; SILVA, J.O. da C. e; MATIAS, R.G.P.; BRUCKNER, C.H. Cold storage of peaches cv. Aurora grown in the Zona da Mata Mineira, Minas Gerais State, Brazil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 833-841, nov/dez. 2013.
- SIVAKUMAR, D.; WALL, M.M. Papaya fruit quality management during the postharvest supply chain. **Food Reviews International**, London, v. 29, n. 1, p. 24-48, Jan/Mar. 2013.
- SONG, J.; FORNEY, C.F. Flavour volatile production and regulation in fruit. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 88, n. 3, p. 537-550, May 2008.
- SOUTO, R.F.; DURIGAN, J.F.; SANTOS, L.O.; SOUZA, B.S. de; MENEGUCCI, J.L.P. Características químicas de abacaxi 'Pérola' após tratamento com calor e armazenagem em três temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 47-56, mar. 2010.
- SOUZA, A.F.; SILVA, W.B. da; GONÇALVES, Y.S.; SILVA, M.G. da; OLIVEIRA, J.G. de. Fisiologia do amadurecimento de mamões de variedades comercializadas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 318-328, jun. 2014.
- SOZZI, G.O.; CASCONI, O.; FRANSCHINA, A.A. Effect of a high-temperature stress on endo- β -mannanase and α - and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 49-63, Oct. 1996.

- STEVENSON, D.G.; DOMOTO, P.A.; JANE, J.-L. Structures and functional properties of apple (*Malus domestica* Borkh) fruit starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 63, n. 3, p. 432-441, Mar. 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- TATAGIBA, J. da S.; OLIVEIRA, A.A.R. Tratamentos pós-colheita. In: RITZINGER, C.H.S.P.; SOUZA, J. da S. (Eds.). **Mamão: fitossanidade**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 12-14.
- THOMAS, P.; MOY, J.H. Radiation preservation of foods of plant origin. III. Tropical fruits: bananas, mangoes, and papayas. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 23, n. 2, p. 147-205, 1986.
- TIAN, M.S.; ISLAM, T.; STEVENSON, D.G.; IRVING, D.E. Color, ethylene production, respiration, and compositional changes in broccoli dipped in hot water. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, p. 112-116, Jan. 1997.
- TIETEL, Z.; LEWINSOHN, E.; FALLIK, E.; PORAT, R. Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 175-182, Feb. 2012.
- TREMOCOLDI, M.A.; DAIUTO, E.R.; ALENCAR, S.M. de; VIEITES, R.L. Efeito da hidrotermia em abacate ‘Hass’ sobre a capacidade antioxidante, compostos fenólicos e coloração. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1279-1290, mai/jun. 2014.
- TREVISAN, M.J. **Efeito da aplicação de 1-metilciclopropeno e etileno na fisiologia e no amadurecimento de mamões ‘Golden’**. 2012. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- ULRICH, D.; WIJAYA, C.H. Volatile patterns of different papaya (*Carica papaya* L.) varieties. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Berlin, v. 83, n. 2, p. 128-132, 2010.
- WILLAERT, G.A.; DIRINCK, P.J.; DE POOTER, H.L.; SCHAMP, N.N. Objective measurement of aroma quality of golden delicious apples as a function of controlled atmosphere storage time. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 31, n. 4, p. 809-813, Jul. 1983.
- YIMYONG, S.; DATSENKA, T.U.; HANDA, A.K.; SERAYPHEAP, K. Hot water treatment delays ripening-associated metabolic shift in ‘Okrong’ mango fruit during storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 136, n. 6, p. 441-451, Nov. 2011.

YOSHIOKA, H.; AOBA, K.; KASHIMURA, Y. Molecular weight and degree of methoxylation in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 4, p. 600-606, Jul. 1992.

ZHANG, Z.; GAO, Z.; LI, M.; HU, M.; GAO, H.; YANG, D.; YANG, B. Hot water treatment maintains normal ripening and cell wall metabolism in mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **HortScience**, Alexandria, v. 47, n. 10, p. 1466-1471, Oct. 2012.

ANEXOS

ANEXO A. Ficha utilizada no teste de ordenação-preferência para os atributos sensoriais de cor, aroma, sabor e textura; perfil dos provadores; consumo do fruto; e intenção de compra do produto.

Nome: _____

Muito obrigado por participar de nossa análise sensorial com mamão. Você receberá DUAS amostras de mamão para avaliar. Por favor, prove o produto e responda as questões que se seguem:

Indique o quanto você gostou da cor do produto, colocando no parêntese o nº da amostra:

- () () gostei extremamente
- () () gostei muito
- () () gostei regularmente
- () () gostei ligeiramente
- () () não gostei nem desgostei
- () () desgostei ligeiramente
- () () desgostei regularmente
- () () desgostei muito
- () () desgostei extremamente

Indique o quanto você gostou do aroma do produto:

- () () gostei extremamente
- () () gostei muito
- () () gostei regularmente
- () () gostei ligeiramente
- () () não gostei nem desgostei
- () () desgostei ligeiramente
- () () desgostei regularmente
- () () desgostei muito
- () () desgostei extremamente

Indique o quanto você gostou do sabor do produto:

- () () gostei extremamente
- () () gostei muito
- () () gostei regularmente
- () () gostei ligeiramente
- () () não gostei nem desgostei
- () () desgostei ligeiramente
- () () desgostei regularmente
- () () desgostei muito
- () () desgostei extremamente

Indique o quanto você gostou da textura do produto:

- ☐ ☐ gostei extremamente
☐ ☐ gostei muito
☐ ☐ gostei regularmente
☐ ☐ gostei ligeiramente
☐ ☐ não gostei nem desgostei
☐ ☐ desgostei ligeiramente
☐ ☐ desgostei regularmente
☐ ☐ desgostei muito
☐ ☐ desgostei extremamente

Comentários: por favor, indique o que em particular você mais gostou ou menos gostou neste produto (use palavras ou frases):

Mais gostei:

Menos gostei:

(____) _____ (____) _____
 (____) _____ (____) _____

Qual a sua faixa de idade?

- ☐ até 18 anos
☐ 18 a 25 anos
☐ acima de 25 a 35 anos
☐ acima de 35 anos

Você costuma consumir esse tipo de produto?

- ☐ Sim, diariamente
☐ Sim, de vez em quando (com que frequência? _____)
☐ Sim, raramente
☐ Nunca

Você compraria esse produto?

Amostra		
Sim		
Talvez		
Não		