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

Amadurecimento do mamão ‘Golden’: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado

Ilana Urbano Bron

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.**

**Piracicaba
2006**

Ilana Urbano Bron
Engenheiro Agrônomo

Amadurecimento do mamão ‘Golden’: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Bron, Ilana Urbano

Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado / Ilana Urbano Bron. - - Piracicaba, 2006.
66 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Fisiologia pós-colheita 2. Hormônio vegetal 2. Mamão 3. Maturação vegetal
4. Respiração vegetal I. Título

CDD 634.651

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me guiar pelos melhores caminhos.

Aos professores e demais funcionários da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por terem contribuído com minha formação durante os 12 anos que morei em Piracicaba.

À Caliman Agrícola S/A, Gaia Importação e Exportação Ltda, Mandarins Importação e Exportação de Frutas Ltda e Agra Produção e Exportação Ltda pela atenção e fornecimento dos frutos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Angelo Pedro Jacomino pela orientação, amizade e oportunidades ao longo desses quase 10 anos. Muito obrigada Angelo!

Ao Marcos José Trevisan pela ajuda nos experimentos e socorro nos apuros do laboratório. Valeu Marcos!

A todos os estagiários do laboratório sempre muito prestativos e atenciosos, em especial à Ana Luiza Pinheiro pela responsabilidade, dedicação, e ajuda incansável. Aninha, você vai longe!

À Lucimara Antonioli e Patricia Cia pelas sugestões e bate-papos. Obrigada meninas!

À Daniela Vitti pelo tempo que quebramos a cabeça decifrando as enzimas e também pelas conversas e risadas...Valeu Dani!

Agradeço aos meus pais, Ana Maria Urbano e Luy Bron pelos esforços para que eu chegasse até aqui, sempre me incentivando a continuar...e pela dedicação e amor, sempre...

Ao meu marido Rafael Vasconcelos Ribeiro pelas sugestões durante a realização deste trabalho, com seu entusiasmo contagiante pelo que faz e vive e, principalmente, por todo amor e carinho nos momentos vividos por nós!

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 FISIOLOGIA DO AMADURECIMENTO E QUALIDADE DO MAMÃO ‘GOLDEN’ COLHIDO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO	9
Resumo	9
Abstract.....	10
2.1 Introdução.....	11
2.2 Desenvolvimento	12
2.2.1 Revisão Bibliográfica	12
2.2.2 Material e Métodos	14
2.2.3 Resultados e Discussão.....	17
2.3 Considerações Finais	32
Referências	32
3 EFEITO DO BLOQUEIO DA AÇÃO DO ETILENO E ARMAZENAMENTO REFRIGERADO NO AMADURECIMENTO DO MAMÃO ‘GOLDEN’	39
Resumo	39
Abstract.....	40
3.1 Introdução.....	41
3.2 Desenvolvimento	42
3.2.1 Revisão Bibliográfica	42
3.2.2 Material e Métodos	44
3.2.3 Resultados e Discussão.....	47
3.3 Considerações Finais	59
Referências	60

RESUMO

Amadurecimento do mamão ‘Golden’: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado

O presente trabalho objetivou estudar como o ponto de colheita, o bloqueio da ação do etileno e o armazenamento refrigerado interferem no amadurecimento e na qualidade do mamão ‘Golden’. No primeiro experimento, foram colhidos mamões ‘Golden’ em 4 estádios de maturação (Estádio 0: totalmente verde; Estádio 1: até 15% da casca amarela; Estádio 2: 16-25% da casca amarela; Estádio 3: 26-50% da casca amarela) e analisados, durante o amadurecimento a 23°C, quanto às características físicas e químicas (cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico), fisiológicas (respiração e produção de etileno) e sensoriais (sabor, odor, firmeza e aparência). A partir do 2º dia de armazenamento a 23°C, os frutos apresentaram respiração constante ao redor de 31 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para os estádios 0, 1 e 2 e de 37 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para o estádio 3. Não foi observado típico comportamento climatérico para nenhum dos estádios. Somente frutos colhidos nos estádios 0 e 1 apresentaram pico na produção de etileno de 2,1 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ aos 7 dias e 1,3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ aos 6 dias de armazenamento a 23°C, respectivamente. Frutos colhidos nos estádios 2 e 3 tiveram notas superiores na avaliação sensorial, principalmente quanto ao sabor e aparência. Frutos de todos os estádios de maturação receberam notas iguais ou superiores a regular. A colheita em diferentes estádios de maturação alterou a fisiologia pós-colheita dos frutos, sendo que quando efetuada em estádios menos avançados, diminuiu a qualidade do fruto, mas não impossibilitou seu consumo. No segundo experimento foram utilizados mamões colhidos no estádio 1 de maturação. Metade dos frutos tratados e não tratados com 100 nL L⁻¹ de 1-metilciclopropeno (1-MCP) foi mantida a 23°C, sendo que a outra metade permaneceu por 20 dias a 11°C, antes da transferência para 23°C. Durante o amadurecimento, os frutos foram analisados quanto às mesmas características físicas, químicas e fisiológicas realizadas no primeiro experimento, além da atividade da enzima pectinametilesterase (PME). Frutos que receberam aplicação de 1-MCP e não foram refrigerados, tiveram redução na respiração, produção de etileno, desenvolvimento da cor da casca e atividade da PME, mantendo a firmeza alta durante o armazenamento a 23°C. Mesmo com o aumento gradual da produção do etileno a 23°C, frutos tratados com 1-MCP mantiveram a firmeza alta, mas, apresentaram perda da coloração verde. O armazenamento refrigerado prejudicou a produção do etileno nos frutos não tratados e tratados com 1-MCP quando os mesmos foram transferidos para 23°C. Mesmo assim, a firmeza nesses frutos decresceu, sendo essa diminuição sempre menor nos frutos tratados com 1-MCP. Esses resultados nos levam a considerar que o amolecimento da polpa é mais dependente do etileno quando comparado ao desenvolvimento da cor da casca, e que existem processos independentes do etileno responsáveis pela perda de firmeza. A inibição prolongada do etileno, ou a inibição dos sítios receptores nos frutos colhidos em estádio de maturação precoce, reflete em lenta capacidade de recuperação da ação e produção do etileno, fazendo com que o uso de bloqueadores da ação do etileno nesses frutos deva ser feito com cautela.

Palavras chave: *Carica papaya*, pós-colheita, 1-MCP, respiração, pectinametilesterase

ABSTRACT

Ripening of 'Golden' papaya fruit: harvest time, ethylene action blockade and cold storage

The present work had as objective the study of how the harvest time, ethylene action blockade and cold storage influence the ripening and the quality of 'Golden' papaya fruit. In the first experiment 'Golden' papayas were harvested at 4 maturity stages (Stage 0: totally green; Stage 1: up to 15% of yellow skin; Stage 2: 16-25% of yellow skin; Stage 3: 26-50% of yellow skin) and analyzed during ripening at 23°C in relation to physical and chemical (skin color, pulp firmness, soluble solids, titratable acidity and ascorbic acid), physiological (respiration and ethylene production) and sensorial (flavor, odor, firmness and appearance) characteristics. From the 2nd day of storage at 23°C, fruits presented stable respiratory activity around 31 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ for stages 0, 1 e 2 and 37 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ for stage 3. It was not observed typical climacteric behavior in any maturity stage. Only fruits harvested in stage 0 and 1 showed ethylene production peak of 2.1 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ at the 7th day and 1.3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ at the 6th day of storage at 23°C, respectively. Fruits harvested at stages 2 and 3 had superior scores in sensorial evaluation, mainly for flavor and appearance. Sensorial characteristics of fruits from all maturity stages were scored as regular or superior. Harvest at different maturity stages altered the fruit postharvest physiology and when effectuated at early stages reduced the fruit quality but did not make the fruit consume impossible. In the second experiment papayas harvested at maturity stage 1 were evaluated. Half of the fruit treated and non-treated with 100 nL L⁻¹ of 1-methylcyclopropene (1-MCP) were exposed to 23°C, while the other half was stored at 11°C for 20 days, prior to transference to 23°C. During the ripening, fruits were analyzed for the same physical, chemical and physiological characteristics as done in the first experiment, besides the activity of the pectinmethylesterase (PME) enzyme. Fruits that received 1-MCP, and were not refrigerated, presented reduction in respiratory activity, ethylene production, skin color development and PME activity, maintaining high pulp firmness during the storage at 23°C. Even with gradual increase in ethylene production at 23°C, fruits treated with 1-MCP maintained high firmness, but presented loss of green skin color. The cold storage harmed the ethylene production in non-treated and 1-MCP-treated fruits when they were transferred to 23°C. Even so, the firmness in those fruits decreased, being this decrease always lower in 1-MCP treated fruits. The results suggest that pulp softening is more dependent on ethylene when compared to skin color development and that there are processes responsible for firmness loss that are independent on ethylene. It is also possible to assume that prolonged ethylene inhibition or the inhibition of receptor sites in fruits that were harvested at early maturity stages, reflects in slow recovery capacity of ethylene action and production, suggesting that the use of ethylene action blockers in these fruits must be done with caution.

Key words: *Carica papaya*, postharvest, 1-MCP, respiration, pectinmethylesterase

1 INTRODUÇÃO

O amadurecimento envolve uma série de mudanças fisiológicas e bioquímicas nos frutos que alteram sua composição e que, portanto, permitem seu consumo. Apesar de já sabermos como muitos desses processos ocorrem, restam ainda questões que precisam ser elucidadas.

Os estudos em fisiologia pós-colheita iniciaram-se com a publicação de Franklin Kidd e Charles West em 1927, quando estudando as condições ideais para o armazenamento de maçãs, os autores descreveram um aumento brusco na respiração dos frutos durante o amadurecimento, denominando-o de climatério. Nesta época pouco se sabia sobre o processo respiratório em vegetais e ainda nem se pensava sobre o papel do etileno no amadurecimento. Foi somente em 1934 quando Gane demonstrou que o etileno era naturalmente produzido por maçãs, e com o advento da cromatografia gasosa nas décadas de 50 e 60, que os estudos com o etileno avançaram. O etileno então passou a ser considerado o hormônio do amadurecimento e não mais se discutia sobre o amadurecimento e climatério sem se referir a ele.

Com o progresso das pesquisas, verificou-se que alguns processos do amadurecimento não estavam relacionados com o aumento da respiração e, além disso, que o climatério dependia de alguns fatores como as condições de cultivo, o ponto de colheita e a variedade considerada. Algumas explicações para a ocorrência do climatério foram propostas, tais como: um processo resultante do aumento de demanda energética necessária para dar continuidade ao amadurecimento; um resultado da mudança na organização celular resultante do início da senescência; uma reação ao estresse da colheita; ou uma resposta homeostática da mitocôndria para compensar os efeitos degradantes da senescência celular.

Com o advento de novas técnicas de pesquisa como o uso de inibidores da biossíntese e ação do etileno e o emprego da biologia molecular, dúvidas também surgiram em relação ao etileno. Estaria ele totalmente relacionado ao aumento da respiração? Seria uma resposta ao estresse decorrente do amadurecimento? O papel do etileno passou a ser questionado quando trabalhos evidenciaram que algumas transformações pós-colheita são independentes do aumento na produção de etileno. Enfim, muito se tem discutido sobre os processos envolvidos na iniciação e controle do amadurecimento, mas pesquisas ainda são necessárias para o esclarecimento de sua natureza e funções.

O conhecimento da fisiologia do amadurecimento do fruto é essencial para que se possa elaborar uma estratégia pós-colheita eficiente. No presente estudo foram realizados dois experimentos, o primeiro com o objetivo de estudar como o estágio de maturação na colheita influencia o amadurecimento e qualidade do mamão ‘Golden’ e o segundo com o objetivo de estudar os efeitos do bloqueio da ação do etileno e do armazenamento refrigerado no amadurecimento deste fruto.

O mamão é uma fruta de destaque no país e que vem ganhando mercado a cada ano no exterior. O Brasil tem sido o principal produtor de mamão nos últimos dez anos, sendo atualmente responsável por quase metade da produção mundial. De acordo com o local de comercialização, o mamão é colhido em um determinado estágio de maturação. Como não acumula amido durante a maturação, a quantidade de açúcar não apresenta grandes variações na pós-colheita do mamão, fazendo do ponto de colheita um importante fator na determinação do sabor. Além disso, o amadurecimento pode ser influenciado pelo estágio no qual o fruto é colhido, o que se refletirá na qualidade final.

Para que a qualidade do fruto seja mantida por alguns dias, como no caso do transporte marítimo de frutos exportados, é necessário o uso da refrigeração. Assim como grande parte das frutas tropicais, o mamão não tolera temperaturas de armazenamento muito baixas, que quando empregadas de maneira incorreta, podem ocasionar danos ao amadurecimento, comprometendo a qualidade do fruto. Outra prática pós-colheita com potencial de uso em mamões é a aplicação do 1-metilciclopropeno. Além de ser uma técnica de conservação interessante, uma vez que bloqueia a ação do etileno, pode ser vista como uma ferramenta para se estudar a dependência dos eventos que ocorrem durante o amadurecimento a esse hormônio.

Entender como os eventos do amadurecimento são regulados, significa a possibilidade de manipulá-los, visando a obtenção de frutos com qualidade e com o mínimo de perdas na pós-colheita.

2 FISIOLOGIA DO AMADURECIMENTO E QUALIDADE DO MAMÃO ‘GOLDEN’ COLHIDO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

Resumo

O estágio de maturação do fruto na colheita é um dos fatores críticos que influenciam os processos que ocorrem durante o amadurecimento e, conseqüentemente, a qualidade do fruto. O trabalho objetivou estudar como o estágio de maturação no momento da colheita influencia a fisiologia do amadurecimento e a qualidade do mamão ‘Golden’. Foram colhidos mamões ‘Golden’ em 4 estádios de maturação (Estádio 0: totalmente verde; Estádio 1: até 15% da casca amarela; Estádio 2: 16-25% da casca amarela; Estádio 3: 26-50% da casca amarela) e analisados, durante o amadurecimento a 23°C, quanto às características físicas e químicas (cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico), fisiológicas (atividade respiratória e produção de etileno) e sensoriais (sabor, odor, firmeza e aparência). Frutos colhidos nos 4 estádios de maturação apresentaram variação similar na respiração com atividades constantes, após o 2º dia de armazenamento a 23°C, ao redor de 31 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para os estádios 0, 1 e 2 e de 37 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para o estágio 3. Não foi observado típico comportamento climatérico para nenhum dos estádios. Frutos colhidos no estágio 0 apresentaram pico bastante definido na produção de etileno de 2,1 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ aos 7 dias de armazenamento. Frutos colhidos no estágio 1 tiveram variação similar ao estágio 0 na produção do etileno, entretanto a elevação na produção aconteceu aos 6 dias e foi menos intensa, com valores de 1,3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹. Frutos colhidos nos estádios 2 e 3 apresentaram menor produção de etileno, sem elevações significativas ao longo do amadurecimento. Considerando frutos em condição de consumo aqueles com firmeza da polpa ≤ 20 N, observou-se que frutos colhidos no estágio 0, 1, 2 e 3 atingiram essa condição após 7, 6, 4 e 3 dias a 23°C, respectivamente. A quantidade de ácido ascórbico aumentou de 20 a 30% durante o amadurecimento, enquanto que o ângulo de cor da casca e a acidez titulável tiveram seus valores reduzidos. Frutos colhidos nos estádios 2 e 3 tiveram notas superiores na avaliação sensorial, principalmente quanto ao sabor e aparência. Frutos de todos os estádios de maturação receberam notas iguais ou superiores a regular. Os frutos colhidos nos 4 estádios de maturação completaram seu amadurecimento, evidenciado por modificações nos atributos de qualidade. A colheita em diferentes estádios de maturação alterou a fisiologia pós-colheita dos frutos, sendo que quando efetuada em estádios menos avançados, diminuiu a qualidade do fruto, mas não impossibilitou seu consumo.

Palavras chave: *Carica papaya*, pós-colheita, ponto de colheita

RIPENING PHYSIOLOGY AND QUALITY OF 'GOLDEN' PAPAYA FRUIT HARVESTED AT DIFFERENT MATURITY STAGES

Abstract

The maturity stage at harvest is one of the factors that influence the processes during fruit ripening and consecutively, its quality. The work had as objective the study of how the maturity stage at harvest influences the ripening physiology and the quality of 'Golden' papaya. 'Golden' papayas were harvested at 4 maturity stages (Stage 0: totally green; Stage 1: up to 15% of yellow skin; Stage 2: 16-25% of yellow skin; Stage 3: 26-50% of yellow skin) and analyzed during ripening at 23°C in relation to physical and chemical (skin color, pulp firmness, soluble solids, titratable acidity and ascorbic acid), physiological (respiratory activity and ethylene production) and sensorial (flavor, odor, firmness and appearance) characteristics. Fruits harvested at 4 maturity stages showed similar variation in respiration with stable activity, after the 2nd day, around 31 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ for stages 0, 1 and 2 and 37 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ for stage 3. It was not observed typical climacteric behavior for any maturity stage. Fruit harvested at stage 0 showed a well defined ethylene production peak of 2.1 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹, after 7 days of storage. Fruits harvested at stage 1 had similar variation in ethylene production compared to stage 0; however the production elevation occurred after 6 days and was less intense, with values of 1.3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹. Fruits harvested at stages 2 and 3 showed the lowest ethylene production with non-significant elevation during the ripening. Considering fruits with edible condition those with pulp firmness ≤ 20 N, it was observed that fruits harvested at stages 0, 1, 2 and 3 reached this condition after 7, 6, 4 and 3 days at 23°C, respectively. The ascorbic acid increased 20 to 30% during ripening, while hue angle and titratable acidity had its values reduced. Fruits harvested at stages 2 and 3 had superior scores in sensorial evaluation, mainly for flavor and appearance. Sensorial characteristics of fruits from all maturity stages were scored as regular or superior. Fruits harvested at 4 maturity stages completed the ripening, evidenced by modification in quality attributes. Harvest at different maturity stages altered the fruit postharvest physiology and when effectuated at early stages, it reduced the fruit quality but did not make the fruit consume impossible.

Key words: *Carica papaya*, postharvest, harvest time

2.1 Introdução

Muita atenção tem sido dada aos tratamentos pós-colheita para preservar a qualidade do fruto, no entanto, pouco se tem feito para entender como e quais são os fatores que antecedem a colheita e que influenciam a fisiologia do fruto. A composição química do fruto maduro é dependente de inúmeros fatores pré-colheita entre eles a variedade, as condições ambientais, as práticas de cultivo e o estágio de maturação no qual o fruto é colhido. A colheita no estágio ideal de maturação é um dos fatores críticos que influencia os processos que ocorrem durante o amadurecimento e, conseqüentemente, a qualidade do fruto. Frutos colhidos em estágios avançados de maturação, geralmente não suportam o transporte e a comercialização. Em contrapartida, frutos muito verdes, apesar de resistirem ao manuseio pós-colheita, podem ter o processo do amadurecimento comprometido, de maneira que não atinjam a qualidade ideal para o consumo.

Alguns trabalhos evidenciam que a colheita em estágios de maturação inadequados pode prejudicar o sabor (LALEL; SINGH; TAN, 2003), a aparência (KAYS, 1999) e a textura do fruto (JOHNSTON et al., 2002), entre outros atributos. Outros nos fornecem informação sobre como os processos fisiológicos que ocorrem nos frutos são influenciados e coordenados durante o amadurecimento (LARRIGAUDIÈRE; GUILLEN; VENDRELL, 1995).

Embora o mamão seja uma das frutas mais consumidas em países tropicais, não existem muitas referências sobre a fisiologia pós-colheita deste fruto. Apesar de ser o maior produtor mundial de mamão com uma produção de 1.600.000 toneladas, o Brasil vem exportando 35 mil toneladas de frutos, ocupando o terceiro lugar entre os países exportadores (BRAPEX, 2005). A variedade Golden representa grande parte dos frutos exportados, no entanto, poucos estudos com essa variedade têm sido realizados até o momento. A falta de qualidade dos frutos é uma das limitações para a expansão dos mercados interno e externo. O conhecimento dos fatores que interferem na fisiologia do amadurecimento do fruto é essencial na elaboração de estratégias pós-colheita que preservem a qualidade do fruto.

O objetivo deste trabalho foi estudar como o estágio de maturação no momento da colheita influencia o amadurecimento e a qualidade do mamão 'Golden'.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Revisão Bibliográfica

O amadurecimento é a fase mais estudada na pós-colheita de frutos, justamente por ser nessa fase que as mudanças na composição dos frutos ocorrem com mais intensidade. De acordo com Watada et al. (1984), o amadurecimento é a fase que ocorre no final do desenvolvimento e início da senescência, composta por inúmeros processos que determinam as características de qualidade, evidenciadas por mudanças na composição, coloração, textura e outros atributos sensoriais. Se por um lado o amadurecimento é responsável por tornar o fruto comestível e com características apreciadas pelo consumidor, por outro, indubitavelmente, leva à redução na conservação do fruto, o que conduz a perdas pós-colheita. Entender como os processos dessa fase acontecem, são regulados e influenciados, significa a possibilidade de manipulá-los contribuindo para a obtenção de frutos com qualidade e com o mínimo de perdas na pós-colheita.

O amadurecimento do mamão é caracterizado por mudanças em seus constituintes, tais como, a degradação da pectina levando à perda da firmeza (LAZAN et al., 1989), aumento no teor de ácidos orgânicos e vitamina C (DRAETTA et al., 1975), degradação da clorofila e síntese de carotenóides na casca (BIRTH et al., 1984). Dois processos metabólicos são fundamentais para que estas mudanças ocorram: a respiração celular e a produção do etileno.

Kidd e West, 1925 apud Rhodes (1980), estudando a fisiologia do amadurecimento em maçã, verificaram que o amadurecimento desse fruto era marcado por uma elevação na respiração e nomearam esse fenômeno de respiração climatérica. Durante as décadas seguintes inúmeros trabalhos evidenciaram que o etileno, um hormônio gasoso, poderia promover o amadurecimento de frutos. De acordo com Biale; Young e Olmstead (1954) a produção de etileno aumenta drasticamente durante o amadurecimento de frutos que apresentam respiração climatérica, podendo esse pico coincidir ou ocorrer antes da máxima atividade respiratória. Nos anos que se seguiram, ficou evidente que durante o aumento da respiração, aconteciam também outras transformações fisiológicas e bioquímicas nos frutos, o que levou Rhodes (1970) a redefinir o climatérico como sendo um período na ontogenia de certos frutos na qual uma série de mudanças bioquímicas é iniciada pela produção autocatalítica de etileno, marcando o limite entre o crescimento e a senescência, envolvendo o aumento da respiração e conduzindo ao amadurecimento. Nos frutos em que ocorre o climatérico, o etileno tem papel fundamental nas

mudanças bioquímicas e fisiológicas durante o amadurecimento (LELIÈVRE et al., 1997a; GIOVANNONI, 2001).

Entretanto, constatou-se que nem todos os frutos apresentavam elevação na respiração durante o amadurecimento, como por exemplo, a laranja e o limão (BIALE; YOUNG; OLMSTEAD, 1954). Foram então distinguidos dois tipos de frutos, os climatéricos e os não climatéricos, sendo que os últimos não exibiam aumento na respiração e produção de etileno, ao contrário, apresentavam declínio gradual na respiração e produção constante de etileno durante o amadurecimento (KNEE; SARGENT; OSBORNE, 1977).

Apesar dos frutos serem classificados nessas duas tradicionais classes, a fisiologia do amadurecimento é um processo bastante complexo e por esse motivo a classificação dos frutos em determinada categoria pode ser considerada uma visão bastante simplificada de todo o processo.

A fisiologia pós-colheita pode ser influenciada e, portanto, alterada por vários fatores, entre eles a variedade, condições ambientais e o ponto de colheita. O ponto de colheita é de fundamental importância para a obtenção de um fruto com qualidade e potencial para armazenamento e transporte. Pratt e Goeschl (1969) já evidenciavam que em melões, tanto o pico na atividade respiratória, quanto à máxima produção de etileno eram dependentes do estágio de maturação no qual o fruto é colhido. De acordo com Larrigaudiere; Guillen e Vendrell (1995) e Lalel; Singh e Tan (2003), somente melões colhidos em estádios menos avançados de maturação apresentam padrão climatérico. Lyons e Pratt (1964) verificaram que apenas tomates colhidos após os 31 dias da polinização apresentavam típica elevação na produção de etileno.

A permanência do fruto na planta também influencia a respiração durante a pós-colheita. Vários trabalhos confirmam que frutos como o tomate e o melão, não apresentam elevação na respiração enquanto presos à planta (KNEE, 1995; SHELLIE; SALTVEIT, 1993). No entanto, Kidd e West, 1925 apud Rhodes (1980) verificaram que o pico climatérico em maçãs também ocorria enquanto o fruto estava preso à árvore.

O ponto de colheita também tem grande influência sobre a qualidade sensorial dos frutos. Ahmad; Clarke e Thompson (2001) comprovaram que bananas colhidas em estádios mais avançados de maturação tinham melhor aceitação pelo consumidor. Nesse mesmo trabalho, os autores verificaram que as bananas colhidas mais verdes tenderam a permanecer mais firmes por um período maior, o que do ponto de vista da comercialização, pode ser bastante vantajoso. Knee

e Smith (1989) relatam que maçãs colhidas em estágios precoces de maturação apresentam boa conservação, porém com sabor, coloração e aroma não satisfatórios. Lalel; Singh e Tan (2003) afirmam que o estágio de maturação na colheita da manga influencia fortemente o amadurecimento e a qualidade do fruto maduro, afetando a biossíntese de compostos voláteis responsáveis pelo aroma. De acordo com Johnston et al. (2002), maçãs colhidas mais tardiamente são mais moles e apresentam menor perda inicial da firmeza, quando comparadas àquelas colhidas menos maduras. A perda da firmeza em frutos de kiwi também é influenciada pela maturidade na colheita (MacRAE et al., 1989).

Apesar do mamão ser um fruto de destaque na fruticultura nacional e internacional, existem poucos trabalhos que estudam sua fisiologia do amadurecimento, bem como os fatores que interferem neste processo.

2.2.2 Material e Métodos

Mamões (*Carica papaya* L.) do grupo Solo, variedade Golden produzidos no município de Linhares (ES) foram colhidos, em fevereiro de 2004, nos estádios 0, 1, 2 e 3 de maturação e transportados sob refrigeração a 10°C até Piracicaba (SP). Os estádios foram definidos visualmente de acordo com a cor da casca em: Estádio 0: totalmente verde; Estádio 1: a cor amarela não cobre mais de 15% da superfície da casca; Estádio 2: fruto com 16-25% da casca amarela; Estádio 3: fruto com 26-50% da superfície da casca amarela (Figura 1). Os frutos foram mantidos em câmaras com temperatura controlada de 23°C e umidade relativa entre 80-90%, até o completo amadurecimento, definido como casca completamente amarela e/ou firmeza da polpa ≤ 20 N.

Estádio 0 **Estádio 1** **Estádio 2** **Estádio 3**

Figura 1- Mamões 'Golden' no momento da caracterização

Os frutos foram analisados no início do experimento visando à caracterização do lote e diariamente durante o amadurecimento quanto à cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, ácido ascórbico, atividade respiratória e produção de etileno. Quando os frutos atingiram o completo amadurecimento, foram também analisados quanto aos atributos sensoriais.

Análises:

Cor da casca: Determinada com colorímetro (Minolta CR-300, Osaka, Japão), tomando-se quatro leituras por fruto na região de maior diâmetro. Os resultados foram expressos em ângulo Hue ($^{\circ}\text{H}$), considerando-se a média das quatro leituras. Foram realizadas 8 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

Firmeza da polpa: Avaliada com penetrômetro digital (53200-Samar, Tr Turoni, Forli, Itália) com ponteira de 8 mm de diâmetro. A casca foi previamente removida com auxílio de um descascador, e as medidas feitas em quatro pontos equidistantes na região de maior diâmetro do fruto. Os dados foram expressos em Newtons (N), considerando-se a média das quatro leituras. Foram realizadas 8 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

Sólidos solúveis (SS): Foram retiradas duas amostras da polpa em lados opostos da região de maior diâmetro do fruto. Em seguida essas amostras foram prensadas e o suco resultante foi avaliado em refratômetro digital com correção automática de temperatura (Atago PR-101, Atago Co Ltda., Tóquio, Japão). Os resultados foram expressos em °Brix, considerando-se a média das duas leituras. Foram realizadas 8 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

Acidez titulável (AT): Para essa determinação, 10 g da polpa foram diluídas em 90 mL de água destilada. A titulação foi feita com hidróxido de sódio (0,1 N) até que a solução atingisse pH 8,1 (ponto de virada da fenolftaleína). Os cálculos foram realizados segundo Carvalho et al. (1990) e os resultados expressos em g de ácido cítrico por 100 g de polpa. Foram realizadas 4 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 frutos.

Ácido ascórbico: Para essa determinação, 5 g da polpa foram diluídas em 25 mL de ácido oxálico 1%. A titulação foi feita com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol. Os cálculos foram realizados segundo Carvalho et al. (1990) e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa. Foram realizadas 4 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 frutos.

Atividade respiratória e produção de etileno: Para as determinações de respiração e produção de etileno, os frutos foram colocados em recipientes herméticos de vidro com capacidade de 1700 mL, previamente expostos às condições de temperatura e umidade do experimento. Após 1 h, amostras de 1 mL de gás foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de uma seringa (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo Thermo Finnigan Trace 2000GC. Após as medidas, os frascos foram abertos e os frutos retirados. O cromatógrafo estava equipado com coluna capilar Porapack N, com 2 m de comprimento e regulada para 80°C, com hidrogênio como gás de arraste (40 mL min⁻¹

¹). Para as análises de respiração (CO₂) foi utilizado metanador a 350°C. As amostras de gases foram analisadas por um detector de ionização de chama a 250°C. A respiração e a produção de etileno foram determinadas pela diferença entre a concentração gasosa inicial (quando os frascos foram fechados) e final (após 1 h), sendo expressas em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Foram realizadas 7 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto. Os mesmos frutos foram utilizados durante todo o período de análise.

Análise sensorial: Foram realizados testes afetivos para determinação do grau de aceitabilidade do fruto pelo consumidor. No completo amadurecimento (casca completamente amarela e/ou firmeza da polpa ≤ 20 N), frutos de cada tratamento foram descascados e cortados em fatias. Porções contendo 2 fatias de mamão foram acondicionadas em recipientes plásticos e oferecidas a 40 provadores não treinados. Os frutos foram avaliados quanto ao sabor, odor, firmeza e aparência, através de uma escala estruturada mista (Ferreira, 2000), com 5 pontos (ótimo, bom, regular, ruim e péssimo).

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, sendo os dados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

2.2.3 Resultados e Discussão

Mamões colhidos em todos os estádios de maturação apresentaram amadurecimento normal após a colheita, evidenciado por modificações nos atributos de qualidade, principalmente na cor da casca e firmeza da polpa, como acontece com os chamados frutos climatéricos. Entretanto, não foi observado típico comportamento climatérico na respiração. Por definição, frutos climatéricos são aqueles que exibem aumento significativo na respiração durante o amadurecimento (RHODES, 1980; YANG, 1985; LELIÈVRE et al., 1997a). Nos frutos climatéricos típicos, há baixa atividade respiratória antes do início do amadurecimento, enquanto no climatérico, ocorre aumento significativo na respiração, seguido por mudanças nos atributos de qualidade (OETIKER; YANG, 1995). Os frutos colhidos nos quatro estádios de maturação apresentaram variações na respiração bastante similares entre si ao longo dos 9 dias de armazenamento a 23°C (Figura 2).

Figura 2 - Atividade respiratória do mamão ‘Golden’ colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=7)

A respiração de mamões ‘Golden’ diminuiu até o 2º ou 3º dia de avaliação, atingindo valores mínimos de aproximadamente 27 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para os estádios 0, 1 e 2 e de 35 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para frutos colhidos no estágio 3. Após este período, observou-se aumento na respiração, principalmente para frutos dos estádios 0 e 1. No entanto, esse aumento não foi significativo ($P > 0,05$), e a atividade respiratória assumiu valores médios de 31 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para frutos colhidos nos estádios 0, 1 e 2 ao longo do amadurecimento. Frutos colhidos no estágio 3 de maturação foram os que apresentaram respiração mais elevada, em média 37 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Frutos colhidos no estágio 0 apresentaram dois períodos de elevação na produção de etileno. O primeiro aumento ocorreu aos 2 dias, atingindo valores que se mantiveram constantes até o 5º dia, e o segundo caracterizou-se por um pico bastante definido ($P < 0,05$) de 2 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹, aos 7 dias de armazenamento a 23°C (Figura 3). Frutos colhidos no estágio 1 de maturação tiveram variação similar na produção do etileno, entretanto a segunda elevação na produção aconteceu aos 6 dias e embora também significativa ($P < 0,05$), foi menos intensa, com valores de 1,3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 3).

Figura 3 - Produção de etileno do mamão ‘Golden’ colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=7)

Os frutos colhidos nos estádios 2 e 3 foram os que apresentaram as menores produções de etileno, em média $0,57 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, não ocorrendo elevações significativas ao longo do período de armazenamento (Figura 3).

Estudos com outras variedades de mamão, já verificaram picos na atividade respiratória para este fruto. Wills e Widjanarko (1995) encontraram pico na atividade respiratória de mamões de $36 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, em média após 5 dias da colheita, enquanto que a máxima produção de etileno ($5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) foi atingida no 6º dia. Em trabalho conduzido por Akamine e Goo (1977) o pico climatérico e a máxima produção de etileno foram concomitantes. Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982), estudando o amadurecimento de quatro variedades de mamão, verificaram que o pico climatérico ocorria em média 130 a 150 dias após a antese. Essa elevação na respiração aconteceu quando os frutos já podiam ser considerados maduros, com casca amarela e polpa mole.

A fisiologia do amadurecimento é composta por uma série de processos interligados de maneira complexa e por este motivo, muitas vezes o comportamento do fruto durante esta fase

pode não corresponder aos padrões previamente estabelecidos. Azzolini et al. (2005), estudando o amadurecimento em goiabas ‘Pedro Sato’, concluíram que esta variedade não poderia ser classificada como climatérica, nem tão pouco como não-climatérica. Apesar de apresentar alterações típicas de frutos climatéricos como mudanças na cor da casca e firmeza da polpa após a colheita, exibiam aumento gradual na respiração e produção de etileno. Abdi et al. (1998) verificaram que ameixas também produziam etileno até as fases finais do amadurecimento e propuseram o termo “suppressed-climacteric” para este tipo de comportamento. Em algumas variedades de pêra (LELIÈVRE et al., 1997b), a habilidade em manifestar o climatérico depende das condições ambientais nas quais foram cultivadas.

A interferência do ponto de colheita na manifestação do climatérico foi estudada em mangas por Lakshminarayana (1973). Nesse estudo, frutos colhidos após 6 semanas do pegamento apresentaram pico na atividade respiratória, no entanto desenvolveram características não satisfatórias quanto aos atributos de qualidade. Já frutos colhidos entre a 11ª e 13ª semana amadureceram com qualidade superior, e a elevação na respiração ocorreu somente nas fases finais do amadurecimento.

A influência do ponto de colheita na fisiologia do amadurecimento foi também evidenciada por Lalel; Singh e Tan (2003), que estudando o amadurecimento de mangas colhidas em quatro estádios de maturação observaram que somente frutos colhidos nos estádios mais precoces apresentaram pico na produção de etileno e aumento significativo na atividade respiratória. Este fato os levou a afirmar que somente mangas colhidas em estádios mais verdes estavam na fase pré-climatérica. Possivelmente, este fato também possa ter ocorrido no presente experimento, no qual frutos colhidos nos estádios 2 e 3, podem ter apresentado sua produção máxima de etileno quando ainda ligados à planta. A fisiologia de um fruto que iniciou o processo de amadurecimento ainda ligado à planta é bastante diferente daquele que foi colhido e amadureceu desconectado da planta. Os frutos que continuam aderidos à planta importam assimilados constantemente e, além disso, como estão expostos à luz, realizam fotossíntese. Desta forma, o pico climatérico pode ser mascarado por mudanças na fotossíntese naqueles frutos ainda presos à planta (KNEE, 1995).

Em estudo realizado por Johnston et al. (2002), maçãs colhidas no estágio 2 tiveram produção de etileno significativamente maior, quando comparadas a maçãs colhidas em estágio mais avançado de maturação. De acordo com Trewavas (1982), à medida que o amadurecimento

progride, o etileno necessário para dar continuidade a esse processo diminui. A quantidade de moléculas receptoras do etileno em frutos com maturação mais adiantada é maior, fazendo com que a quantidade necessária desse hormônio para o amadurecimento seja menor. Desta forma, a necessidade de etileno para dar continuidade ao processo de amadurecimento pode ser maior para os frutos que foram colhidos mais precocemente.

O climatérico e o aumento na produção do etileno sempre foram bastante relatados em pesquisas de pós-colheita, no entanto, suas funções, interações e principalmente significados ainda não são totalmente entendidos. Baseado em experimentos que comprovam que a energia gerada pelo metabolismo basal já seria suficiente para as transformações bioquímicas durante o amadurecimento (SOLOMOS, 1977) e que algumas destas transformações ocorrem sem qualquer aumento na respiração (ROMANI et al., 1983), Romani (1984) propõe que o climatérico seria a máxima resposta homeostática da mitocôndria para compensar os efeitos degradantes da senescência celular e que o aumento na produção de etileno também seria uma resposta a esse estresse. Em trabalhos com mamão como o de Selvaraj e Pal (1982), embora fosse encontrada máxima respiração climatérica, nenhuma mudança expressiva nos constituintes do fruto foi observada após esse evento. No presente experimento, há indícios de que a ausência de um pico na respiração esteja ligada à capacidade homeostática mitocondrial e que níveis basais de etileno e atividade respiratória já seriam suficientes para estimular as transformações bioquímicas.

A perda de firmeza, aliada à mudança da cor da casca, é a transformação mais característica que ocorre durante o amadurecimento de mamões. A perda da consistência do fruto é resultado de vários processos, mas ocorre predominantemente devido à decomposição enzimática da lamela média e parede celular. O amolecimento da polpa do mamão é atribuído à atividade das pectinases em especial à poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME). Outra enzima que tem sido associada ao amaciamento da polpa do mamão é a β -galactosidase, que, provavelmente, completa a ação da PG (LAZAN et al., 1989).

Frutos colhidos em estádios de maturação mais avançados apresentaram firmeza da polpa menor quando comparados aos colhidos mais verdes. Os frutos colhidos nos estádios 0, 1, 2 e 3 apresentavam firmeza de 106, 99, 84 e 74 N respectivamente, no momento da colheita (Tabela 1). Devido à grande variação de firmeza entre frutos do mesmo estágio de maturação (CV = 25%), não foi possível diferenciar estatisticamente os 4 estádios de maturação utilizando este atributo.

Tabela 1 - Características do mamão ‘Golden’ colhido em quatro estádios de maturação, no início do experimento*

	Estádio 0	Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3
Sólidos solúveis (°Brix)	11,5 a	11,6 a	12,0 a	12,7 a
Acidez titulável (%)	0,12 a	0,13 a	0,13 a	0,12 a
Ácido ascórbico (mg.100 ⁻¹ g)	74,5 a	74,2 a	85,4 a	83,5 a
Firmeza da polpa (N)	106,5 a	99,4 ab	84,3 ab	73,8 b
Cor da casca (°H)	110,8 a	108,3 b	105,3 c	101,5 d

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 4 - Firmeza da polpa do mamão ‘Golden’ colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=8)

A velocidade da perda de firmeza também foi influenciada pelo estágio de maturação no qual os frutos foram colhidos. Considerando frutos em condição de consumo aqueles com firmeza da polpa ≤ 20 N, observa-se que frutos colhidos nos estádios 0, 1, 2 e 3 atingiram essa firmeza após 7, 6, 4 e 3 dias a 23°C (Tabela 2 e Figura 4). A perda de firmeza foi mais lenta para

frutos colhidos no estágio 0, o que do ponto de vista da comercialização, pode ser interessante. No 2º dia de armazenamento os frutos do estágio 0 haviam perdido aproximadamente 39% da firmeza inicial, enquanto que, nesta data, os frutos colhidos nos estádios 2 e 3, perderam mais de 60%. Johnston et al. (2002) e MacRae et al. (1989) também confirmaram o amolecimento inicial mais lento para maçãs e kiwis colhidos em estádios menos avançados de maturação. Possivelmente, nos estádios menos avançados de maturação, as enzimas relacionadas ao amadurecimento, como por exemplo, as pectinases, ainda não estavam sintetizadas e ativadas no início do processo de amolecimento. Além disso, nos frutos colhidos ainda verdes, provavelmente, a quantidade de moléculas receptoras para o etileno é menor (TREWAVAS, 1982), e por isso, os processos que também dependem de alguma forma desse hormônio, podem ser atrasados.

Independente do estágio de maturação, as maiores perdas na firmeza ocorrem nos primeiros dias após a colheita. O mesmo foi observado para outras variedades de mamão nas quais os maiores decréscimos na firmeza do fruto ocorreram enquanto os frutos ainda estavam predominantemente verdes (WILLS; WIDJANARKO, 1995).

Nos frutos ditos climatéricos, o pico da produção do etileno antecederia as mudanças nos constituintes dos frutos durante o amadurecimento. No presente trabalho, observamos que o aumento na produção de etileno nos estádios 0 e 1 ocorreu quando os frutos já haviam atingido firmeza de polpa inferior a 20 N (Figuras 3 e 4), fase esta em que a maioria das transformações em seus constituintes já havia ocorrido. Kim; Hewett e Lallu (1999) também verificaram que o aumento na produção do etileno ocorre somente quando kiwis atingiram firmeza inferior a 20 N, quando as pectinas já estavam solubilizadas. Durante o amadurecimento de maçãs, Blankenship e Unrath (1988) notaram decréscimos na firmeza antes de qualquer aumento na concentração interna de etileno.

Paull; Deputy e Chen (1983), observando as relações entre o etileno e algumas características da graviola durante o amadurecimento, propuseram que o etileno apenas aceleraria e/ou coordenaria as mudanças, uma vez que a produção desse hormônio aumentava só em estádios mais avançados do amadurecimento, ou seja, estava associada somente às fases finais de amolecimento.

O processo do amadurecimento, incluindo a perda da firmeza pode ser resultado do aumento da sensibilidade dos tecidos ao etileno, e não necessariamente dependente apenas do aumento da produção de etileno. Além disso, uma quantidade baixa desse hormônio pode ser suficiente para iniciar o processo. Flores et al. (2001) concluíram que o amolecimento depende apenas parcialmente do etileno, uma vez que em melões que expressavam a ácido aminociclopropano carboxílico (ACC) oxidase antisense a perda da firmeza é apenas 50% menor do que em frutos normais, ou seja, outros processos independentes do etileno estão envolvidos.

A perda da firmeza tem estreita relação com a atividade de enzimas pectinolíticas, cuja atividade está relacionada ao etileno com diferentes graus de dependência (JEONG; HUBER; SARGENT, 2002). Além da atuação de enzimas, mecanismos não enzimáticos de degradação da parede também influem na perda de firmeza, como a geração de hidroxilas a partir do ascorbato (DUMVILLE; FRY, 2003).

Foi possível diferenciar os estádios 0, 1, 2 e 3 de maturação quanto à cor da casca, que apresentavam na caracterização 110,8°, 108,3°, 105,3° e 101,5°, respectivamente (Tabela 1). Segundo McGuire (1992), o ângulo de cor é a medida mais apropriada para expressar a variação da coloração durante o amadurecimento de vegetais, sendo 0° a cor vermelha, 90° a amarela, 180° a verde e 270° a cor azul. Durante o amadurecimento, os frutos colhidos em todos os estádios de maturação apresentaram decréscimo no valor de °H, ou seja, desenvolvimento da cor amarela, principalmente a partir do 2° dia de amadurecimento (Figura 5). A mudança da cor verde para amarela no mamão, deve-se à degradação da clorofila e à síntese e revelação de carotenóides (WILLS; WIDJANARKO, 1995).

Frutos colhidos no estágio 3, atingiram a firmeza de consumo em apenas 3 dias no ambiente, quando apresentavam coloração da casca de 86,5°. Os frutos colhidos nos estádios 0, 1 e 2, atingiram a firmeza de consumo mais tardiamente, quando apresentavam coloração amarela mais intensa, com 80°, 81,3° e 81,8°, respectivamente (Tabela 2, Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Cor da casca do mamão 'Golden' colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=8)

Tabela 2 - Características do mamão 'Golden', no completo amadurecimento, colhido em quatro estádios de maturação e armazenados a 23°C*

	Estádio 0	Estádio 1	Estádio 2	Estádio 3
Dias a 23°C	7	6	4	3
Sólidos solúveis (°Brix)	11,9 a	11,7 a	12,7 a	12,5 a
Acidez titulável (%)	0,09 a	0,09 a	0,10 a	0,09 a
Acido Ascórbico (mg.100 ⁻¹ g)	96,2 a	94,8 a	102,8 a	101,5 a
Firmeza da polpa (N)	16,3 a	19,0 a	18,3 a	18,8 a
Cor da casca (°H)	80,0 b	81,3 b	81,8 b	86,5 a

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como observado para firmeza, o aumento na produção de etileno encontrado nos estádios 0 e 1 ocorreu quando os frutos já haviam atingido cor da casca ao redor de 80°, ou seja, estavam com a casca completamente amarela. Também neste caso, pode-se sugerir que a

mudança de cor da casca não seria dependente apenas de altas concentrações de etileno, ou que o etileno apenas coordenaria os eventos já iniciados.

Figura 6 - Mamões 'Golden' no completo amadurecimento, colhidos e quatro estádios de maturação e armazenados a 23°C

Apesar de frutos colhidos nos estádios mais avançados de maturação terem apresentado teor de sólidos solúveis superior àqueles colhidos mais verdes (Figura 7), estas diferenças não foram suficientes para distinguir estes grupos ($P > 0,05$) (Tabela 1). A grande variação entre os frutos do mesmo lote (Figura 7), pode ter contribuído para que não houvesse diferenças significativas.

Independente do estágio em que os frutos foram colhidos, o teor de sólidos solúveis não variou significativamente ao longo do armazenamento ($P>0,05$) (Figura 7).

Figura 7 - Sólidos solúveis do mamão 'Golden' colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=8)

De acordo com Zhou e Paull (2001), a cor da casca em mamões se altera rapidamente após a colheita, enquanto que a cor da polpa e o teor de açúcares se mantêm constantes. O mamão acumula muito pouco amido, até 60 dias após a antese a quantidade é de aproximadamente 0,5%. Essa quantidade diminui com o desenvolvimento do fruto e se estabiliza em torno de 0,1% após 75 dias da antese (SELVARAJ; SUBRAMANYAN; IYER, 1982). Portanto, o mamão não apresenta quantidade significativa de amido para ser hidrolisado durante o amadurecimento, o que resulta em pouca variação nos teores de sólidos solúveis durante a pós-colheita dos frutos.

As relações fonte-dreno desempenham papel chave no desenvolvimento de frutos, principalmente no que diz respeito ao acúmulo de açúcares. A força de dreno influencia o nível de açúcares como a frutose, sacarose e glicose que são também responsáveis pelo sabor do fruto

(ZHOU; PAULL, 2001). De acordo com Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982), o conteúdo de sacarose aumentou de 2 a 5 vezes aos 110 dias após a antese, em mamões que permaneceram na árvore, coincidindo com a época de mudança de cor da casca. Embora menos pronunciada, a quantidade de frutose também aumentou após os 110 dias. Em trabalho conduzido por Zhou e Paull (2001) o acúmulo de açúcares começou entre os 100 e 140 dias após a antese. É possível perceber que a maior força drenó ocorre quando o fruto começa a mudar sua coloração de verde para amarela, ou seja, os frutos colhidos nos estádios 0 e 1 podem não ter passado por esta fase de acúmulo, e portanto, acumularam menos açúcar antes da colheita.

Segundo Zhou e Paull (2001) durante o amadurecimento pós-colheita de mamões, a quantidade de açúcar no fruto permaneceu constante, sugerindo que para o acúmulo de açúcares na polpa, é necessária uma contínua transferência de açúcares da planta para o fruto.

O conteúdo de ácido ascórbico pode aumentar ou diminuir durante o amadurecimento, dependendo do fruto. O decréscimo de ácido ascórbico é atribuído à maior atuação da enzima ácido ascórbico oxidase (ascorbato oxidase) (NOGUEIRA et al., 2002).

Frutos colhidos nos estádios 2 e 3 apresentaram teor de ácido ascórbico superior aos demais estádios já no momento da colheita (Tabela 1). Durante o amadurecimento, o teor de ácido ascórbico aumentou de 20 a 30% independente do estágio de maturação no momento da colheita (Figura 8). Quando completamente maduros os frutos dos estádios 0, 1, 2 e 3 tinham 96, 95, 103 e 101 mg 100g⁻¹ de ácido ascórbico, respectivamente (Tabela 2). Pal et al. (1980), estudando a composição de 12 variedades de mamão, verificaram que os mamões do grupo Solo foram os que apresentaram teores mais elevados de ácido ascórbico, em média 102 mg 100g⁻¹ quando maduros.

Segundo Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982), a quantidade de ácido ascórbico em frutos 130-140 dias após a antese é menor quando comparada a frutos mais verdes. No entanto, essa quantidade volta a aumentar quando o fruto começa a amadurecer, sendo que no fruto maduro a quantidade de ácido ascórbico é praticamente a mesma do fruto com 15 dias após a antese.

Alguns estudos propõem que a manose e a L-galactose são intermediários na via de síntese de ácido ascórbico em plantas. Essas substâncias são utilizadas para a biossíntese de carboidratos da parede celular. Assim, a degradação da parede celular durante o amadurecimento provê substratos para a síntese de ácido ascórbico, podendo explicar o fato dos teores de ácido

ascórbico terem aumentado nos mamões ‘Golden’ (WOLUCKA; VAN MONTAGU, 2003; CONKLIN, 2001).

Figura 8 - Teor de ácido ascórbico do mamão ‘Golden’ colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=4)

Comparado às outras frutas, o mamão apresenta baixa acidez, o que contribui para seu sabor adocicado. No mamão são identificados os ácidos cítrico, málico e tartárico. O ácido cítrico juntamente com o málico perfazem 59% da acidez (SELVARAJ; SUBRAMANYAN; IYER, 1982). A acidez titulável pode aumentar com o amadurecimento, provavelmente em decorrência da formação de ácido galacturônico, proveniente da degradação de pectinas, ou ter seus valores reduzidos em decorrência do processo respiratório ou de sua conversão em açúcares. Sendo o período de amadurecimento de alta atividade metabólica, os ácidos constituem uma excelente reserva energética do fruto, através de sua oxidação no ciclo de Krebs.

Figura 9 - Acidez titulável do mamão 'Golden' colhido em quatro estádios de maturação e armazenado a 23°C. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=4)

Durante o período pós-colheita, Wills e Widjanarko (1995) observaram aumento na acidez titulável atingindo um máximo quando os frutos apresentavam plena coloração amarela na casca. Nesse experimento, o teor de acidez nos mamões foi reduzido ao longo do amadurecimento, principalmente nos frutos colhidos nos estádios 0 e 1 de maturação (Figura 9). Chan et al. (1971) afirmam que o conteúdo de ácido málico tende a decrescer à medida que o mamão amadurece. Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982) também observaram decréscimo na acidez de mamões com o progresso do amadurecimento. Por outro lado, Lazan et al. (1989) constataram que a acidez titulável tende a aumentar com o amadurecimento dos frutos, até atingirem aproximadamente 75% da superfície da casca amarela, decrescendo a partir de então.

Os valores encontrados nos frutos maduros foram de 0,09%, semelhantes a outros mamões do grupo Solo (PAL et al., 1980) e, portanto, muito baixos e pouco significativos comparados aos de outros frutos.

Na análise sensorial, observou-se que quanto mais adiantado o ponto de colheita, maiores foram as notas atribuídas aos frutos no ponto de consumo (Figura 10). De maneira geral, foi possível diferenciar dois grupos pela análise sensorial. Os frutos colhidos nos estádios 2 e 3, obtiveram notas superiores aos frutos colhidos nos estádios 0 e 1 ($P < 0,05$) quando analisados em relação ao odor, sabor, firmeza e aparência. Uma vez que possui acidez baixa, o sabor dos mamões é dado, principalmente, pelo conteúdo de açúcares. Comparando-se os resultados obtidos na análise sensorial (Figura 10) com os valores de sólidos solúveis (Tabela 2), nota-se que as diferenças encontradas na quantidade de sólidos solúveis foram perceptíveis pelo consumidor. A colheita efetuada em estádios mais precoces diminuiu a qualidade do fruto, mas não impossibilitou seu consumo, uma vez que as notas foram iguais ou superiores a regular.

Em trabalho conduzido por Wills e Widjanarko (1995), todos os atributos sensoriais de mamões tiveram notas mais elevadas à medida que os frutos foram amadurecendo.

Figura 10 - Avaliação sensorial do mamão 'Golden' realizada no completo amadurecimento (firmeza da polpa ≤ 20 N). Notas: 1-péssimo, 2-ruim, 3-regular, 4-bom, 5-ótimo

2.3 Considerações Finais

Não se observou típico comportamento climatérico para mamões ‘Golden’ colhidos em todos os estádios de maturação. Quanto mais avançado o estágio de maturação no momento da colheita, menor foi a produção de etileno durante a pós-colheita. Frutos colhidos em estágio mais avançado de maturação possuíam teor de sólidos solúveis maior, o que pode ter contribuído para maiores notas na avaliação sensorial. De maneira geral, as características físicas e químicas dos frutos não diferiram entre os estádios de maturação no momento do consumo, e todos os frutos completaram seu amadurecimento com notas na avaliação sensorial iguais ou superiores a regular. Apesar de não ter impossibilitado o consumo dos frutos, a colheita em estádios mais precoces foi responsável por um fruto de qualidade inferior. A colheita em diferentes estádios alterou a fisiologia pós-colheita dos frutos. Considerando que frutos colhidos mais verdes demoraram mais para amadurecer, a colheita nesses estádios pode ser interessante do ponto de vista da comercialização. No entanto deve-se ter atenção especial com frutos colhidos no estágio 0, uma vez que se pode colher frutos que ainda não tenham atingido a maturidade fisiológica para completar o amadurecimento e assim adquirir características satisfatórias para o consumo.

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, p. 29-39, 1998.

AHMAD, S.; CLARKE, B.; THOMPSON, A.K. Banana harvest maturity and fruit position on the quality of ripe fruit. **Annals of Applied Biology**, Wellsborne, v. 139, p. 329-335, 2001.

AKAMINE, E.K.; GOO, T. Respiration, ethylene production, and shelf life extension in irradiated papaya fruit after storage under simulated shipping conditions. **Hawaii Agricultural Experimental Station Technical Bulletin**, Manoa, v. 93, p. 1-12, 1977.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U.; KLUGE, R.A.; SCHIAVINATO, M.A. Ripening of 'Pedro Sato' guava: study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, p. 299-306, 2005.

BIALE, J.B.; YOUNG, R.E.; OLMSTEAD, A.J. Fruit respiration and ethylene production. **Plant Physiology**, Rockville, v. 29, p.168-174, 1954.

BIRTH, G.S.; DULL, G.G.; MAGEE, J.B.; CHAN, H.T.; CVALETTTO, C.G. An optical method for estimating papaya maturity. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 109, p. 62-66, 1984.

BLANKENSHIP, S.M.; UNRATH, C.R. Internal ethylene levels and maturity of 'Delicious' and 'Golden Delicious' apples destined for prompt consumption. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 1, p. 88-91, 1988.

BRAPEX-Associação Brasileira dos Exportadores de Mamão. Disponível em: <www.brapex.net/index_1024.asp>. Acesso em 19 dez. 2005.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121p.

CHAN, H.T.; CHANG, T.S.K.; STAFFORD, A.E. BREKKE, J.E. Nonvolatile acids of papaya. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 19, p. 263-265, 1971.

CONKLIN, P.L. Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 425-438, 2001.

DRAETTA, I.S.; SHIMOKOMAKI, M.; YOKOMIZO, Y.; FUJITA, J.T.; MENEZES, H.C.; BLEINROTH, E.W. Transformações bioquímicas do mamão (*Carica papaya*) durante a maturação. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 6, p. 395-408, 1975.

DUMVILLE, J.C.; FRY, S.C. Solubilisation of tomato fruit pectins by ascorbate: a possible non-enzymic mechanism of fruit softening. **Planta**, Berlin, v. 217, p. 951-961, 2003.

FERREIRA, V.L.P. **Análise sensorial**: testes discriminativos e afetivos, Campinas, SP: SBCTA, 2000. 127p. (Manual:Série Qualidade)

FLORES, F.; BEN AMOR, M.; JONES, B.; PECH, J.C.; BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A.; ROMOJARO, F. The use of ethylene-suppressed lines to assess differential sensitivity to ethylene of the various ripening pathways in Cantaloupe melons. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 113, p. 128-133, 2001.

GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 52, p. 725-749, 2001.

JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, p. 241-256, 2002.

JOHNSTON, J. W., HEWETT, E. W., HERTOOG, M.L.A.T.M., HARKER, F.R. Harvest date and fruit size affect postharvest softening of apple fruit. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v. 77, p. 355-360, 2002.

KAYS, S.J. Preharvest factors affecting appearance. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 233-247, 1999.

KIM, H.O.; HEWETT, E.W.; LALLU, N. The role of ethylene in kiwifruit softening. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 498, p. 255-261, 1999.

KNEE, M. Do tomatoes on the plant behave as climacteric fruits? **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, p. 211-216, 1995.

KNEE, M.; SMITH, S.M. Variation in quality of apple fruits stored after harvest on different dates. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 64, p. 413-419, 1989.

KNEE, M.; SARGENT, J.A.; OSBORNE, D.J. Cell wall metabolism in developing strawberry fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, p. 377-396, 1977.

LAKSHMINARAYANA, S. Respiration and ripening patterns in the life cycle of the mango fruit. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 48, p. 227-233, 1973.

LALEL, H.J.D.; SINGH, Z.; TAN, S.C. Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in 'Kensington Pride' mango. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v. 78, p. 225-233, 2003.

LARRIGAUDIÈRE, C.; GUILLEN, P.; VENDRELL, M. Harvest maturity related changes in the content of endogenous phytohormones and quality parameters of melon. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, p. 73-80, 1995.

LAZAN, H.; ALI, Z.M.; LIANG, K.M.; YEE, K.L. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit tissue depth and heat treatment. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 77, p. 93-98, 1989.

LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, p. 727-739, 1997a.

LELIÈVRE, J.M.; TICHIT, L.; DAO, P.; FILLION, L.; YOUNG-WAO, N.; PECH, J.C.; LATCHÉ, A. Effects of chilling on the expressions of ethylene biosynthetic genes in Páse-Crassane pera (*Pyrus communis* L.) fruits. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 33, p. 847-855, 1997b.

LYONS, J.M.; PRATT, H.K. Effect of stage of maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 84, p. 491-499, 1964.

McGUIRRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MacRAE, E.A.; LALLU, N.; SEARLE, A.N.; BOWEN, J.H. Changes in the softening and composition of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) affected by maturity at harvest and postharvest treatments. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Sussex, v. 49, p. 413-430, 1989.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A.; SILVA JUNIOR, J.F. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 463-470, 2002.

OETIKER, J.H.; YANG, S.F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 398, p. 167-178, 1995.

PAL, D.K.; SUBRAMANYAM, M.D.; DIVAKAR, N.G.; IYER, C.P.A.; SELVARAJ, Y. Studies on the physico-chemical composition of fruits of twelve papaya varieties. **Journal of Food Science and Technology**, Chicago, v. 17, p. 254-256, 1980.

PAULL, R.E.; DEPUTY, J.; CHEN, N.J. Changes in organics acids, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, p. 931-934, 1983.

PRATT, H.K.; GOESCHL, J.D. Physiological roles of ethylene in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 20, p. 541-584, 1969.

RHODES, M.J.C. The climacteric and ripening of fruits. In: HULME, A.C. (Ed.) **The biochemistry of fruits and their products**, New York: Academic Press, 1970. chap. 17, p. 521-533.

RHODES, M.J.C. The maturation and ripening of fruits. In: THIMANN, K.V.; DELMAN, R.C.; ROTH, G.S. (Eds) **Senescence in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 157-205.

ROMANI, R.J. Respiration, ethylene, senescence, and homeostasis in an integrated view of postharvest life. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 62, p. 2950-2955, 1984.

ROMANI, R.J.; LABAVITCH, T.; YAMASHITA, B.; RAE, H. Preharvest AVG treatment of 'Bartlett' pear fruits: effects on ripening, color change and volatiles. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, p. 1046-1049, 1983.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K. Changes in the chemical composition of papaya (Thailand variety) during growth and development. **Journal of Food Science and Technology**, Chicago, v. 19, p. 257-259, 1982.

SELVARAJ, Y.; SUBRAMANYAN, M.D.; IYER, C.P.A. Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 57, p. 135-143, 1982.

SHELLIE, K.C.; SALTVEIT, M.E. The lack of a respiratory rise in muskmelon fruit ripening on the plant challenges the definition of climacteric behaviour. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, p. 1403-1406, 1993.

SOLOMOS, T. Cyanide-resistant respiration in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 279-297, 1977.

TREWAVAS, A.J. Growth substance sensitivity: the limiting factor in plant development. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 55, p. 60-72, 1982.

WATADA, A.E.; HERNER, R.C.; KADER, A.A.; ROMANI, R.J.; STABY, G.L. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. **HortScience**, Alexandria, v. 19, p. 20-21, 1984.

WILLS, R.B.H.; WIDJANARKO, S.B. Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v. 35, p. 1173-1176, 1995.

WOLUCKA, B.A.; VAN MONTAGU, M. GDP-mannose 3',5'-epimerase forms GDP-L_gulose, a putative intermediate for the novo biosynthesis of vitamin C in plants. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 278, n. 48, p. 47483-47490, 2003.

YANG, S.F. Biosynthesis and action of ethylene. **HortScience**, Alexandria, v. 20, p. 41-45, 1985.

ZHOU, L.; PAULL, R.E. Sucrose metabolism during papaya (*Carica papaya*) fruit growth and ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, p. 351-357, 2001.

3 EFEITO DO BLOQUEIO DA AÇÃO DO ETILENO E ARMAZENAMENTO REFRIGERADO NO AMADURECIMENTO DO MAMÃO ‘GOLDEN’

Resumo

Para que técnicas pós-colheita sejam empregadas com melhores resultados, é fundamental o conhecimento de suas interferências nos processos do amadurecimento. O trabalho objetivou avaliar os efeitos do bloqueio da ação do etileno e do armazenamento refrigerado no amadurecimento do mamão ‘Golden’. Foram utilizados mamões colhidos no estágio 1 de maturação (até 15% da casca amarela). Metade dos frutos tratados e não tratados com 100 nL L⁻¹ de 1-metilciclopropeno (1-MCP) foi mantida a 23°C, sendo que a outra metade permaneceu por 20 dias a 11°C, antes da transferência para 23°C. Durante o amadurecimento, os frutos foram analisados quanto às características físicas e químicas (cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico), fisiológicas (atividade respiratória e produção de etileno) e bioquímicas (atividade da enzima pectinametilesterase, PME). A atividade da PME, a cor da casca, a atividade respiratória e a produção de etileno foram também avaliadas aos 5 e 15 dias de armazenamento refrigerado. Frutos que receberam aplicação de 1-MCP e não foram refrigerados, tiveram redução na atividade respiratória, na produção de etileno, no desenvolvimento da cor da casca, na atividade da PME, mantendo a firmeza alta durante o armazenamento a 23°C. Mesmo com o aumento gradual da produção do etileno a 23°C, frutos tratados com 1-MCP mantiveram a firmeza alta, mas, no entanto, apresentaram perda da coloração verde. A respiração e a produção de etileno foram reduzidas durante os 20 dias de armazenamento a 11°C. Mesmo durante o armazenamento a 11°C, frutos que não receberam 1-MCP apresentaram redução na firmeza. A exposição dos frutos ao armazenamento refrigerado prejudicou a produção do etileno nos frutos não tratados e tratados com 1-MCP quando os mesmos foram transferidos para 23°C. Mesmo assim, a firmeza nesses frutos decresceu, sendo essa diminuição sempre menor nos frutos tratados com 1-MCP. Quando armazenados a 23°C, frutos tratados com 1-MCP apresentaram menor teor de ácido ascórbico. Apesar do teor de sólidos solúveis nos frutos não tratados ter aumentado ligeiramente, esse acréscimo não foi significativo. A acidez dos mamões não tratados aumentou ao longo do armazenamento a 23°C. Esses resultados nos levam a considerar que o amolecimento da polpa é mais dependente ao etileno quando comparado com o desenvolvimento da cor da casca, mas que existem processos responsáveis pela perda de firmeza que são independentes do etileno. A inibição prolongada do etileno, ou a inibição dos sítios receptores nos frutos colhidos em estágio de maturação precoce, reflete em lenta capacidade de recuperação da ação e produção de etileno, sugerindo que o uso de bloqueadores da ação do etileno nesses frutos deva ser feito com cautela.

Palavras-chave: *Carica papaya*, 1-MCP, respiração, pectinametilesterase

3 EFFECT OF ETHYLENE ACTION BLOCKADE AND COLD STORAGE ON RIPENING OF 'GOLDEN' PAPAYA FRUIT

Abstract

To improve postharvest techniques it is fundamental to know how they act in ripening processes. This work had as objective the evaluation of the effects of ethylene action blockade and cold storage in ripening of 'Golden' papaya fruit. Papayas harvested at maturity stage 1 (up to 15% of yellow skin) were evaluated. Half of the fruit treated and non-treated with 100 nL L⁻¹ of 1-methylcyclopropene (1-MCP) were exposed to 23°C, while the other half was stored at 11°C for 20 days, prior to transference to 23°C. During the ripening, fruits were analyzed for physical and chemical (skin color, pulp firmness, soluble solids, titratable acidity and ascorbic acid) physiological (respiratory activity and ethylene production) and biochemical (pectinmethylesterase activity, PME) characteristics. The activity of PME, skin color, respiratory activity and ethylene production were also evaluated at 5 and 15 days of cold storage. Fruits that received 1-MCP application, and were not refrigerated, presented reduction in respiratory activity, ethylene production, skin color development and PME activity, maintaining high pulp firmness during the storage at 23°C. Even with gradual increase in ethylene production at 23°C, fruits treated with 1-MCP maintained high firmness, but presented loss of green skin color. The respiratory activity and ethylene production were reduced during the 20 days of storage at 11°C. Even during storage at 11°C fruits that did not receive the 1-MCP showed firmness reduction. The cold storage harmed the ethylene production in non-treated and 1-MCP-treated fruits when they were transferred to 23°C. Even so, the firmness in those fruits decreased, being this decrease always lower in 1-MCP treated fruits. When stored at 23°C, fruit treated with 1-MCP showed lower acid ascorbic content. The soluble solids had a little increase in fruits non-treated, but this increase was not meaningful. The acidity in papaya non-treated increased during storage at 23°C. The results suggest that pulp softening is more dependent on ethylene when compared to skin color development and that there are processes responsible for firmness loss that are independent on ethylene. It is also possible to assume that prolonged ethylene inhibition or the inhibition of receptor sites in fruits that were harvested at early maturity stages reflects in slow recovery capacity of ethylene action and production, suggesting that the use of ethylene action blockers in these fruits must be done with caution.

Key words: *Carica papaya*, 1-MCP, respiration, pectinmethylesterase

3.1 Introdução

A refrigeração e o controle da ação do etileno são técnicas muito usadas para preservar a qualidade dos frutos, aumentando sua conservação. Para que essas práticas pós-colheita sejam empregadas com melhores resultados, é fundamental que se conheça como elas atuam nas mudanças que ocorrem durante o amadurecimento dos frutos.

A importância do etileno na regulação dos processos que acontecem durante o amadurecimento dos frutos tem sido demonstrada em trabalhos com frutos geneticamente modificados que tiveram a produção e/ou ação desse hormônio inibidas. A forma como cada evento é controlado e coordenado pelo etileno durante o amadurecimento é uma questão ainda não completamente esclarecida. Com o advento das pesquisas que empregam a biologia molecular, tem sido demonstrado que alguns processos são dependentes do etileno, mas outros se mostram independentes ou mesmo apresentam dependência parcial. Inibidores da ação do etileno são particularmente interessantes do ponto de vista da conservação dos alimentos, por inibir tanto a ação do etileno endógeno, quanto do exógeno, além de representarem uma ótima ferramenta para estudo de processos relacionados ao etileno.

A refrigeração é a técnica mais utilizada para o controle do amadurecimento. Com a redução da temperatura, as reações enzimáticas ligadas à respiração e senescência, ocorrem mais lentamente, minimizando a perda de qualidade dos frutos. A refrigeração deve diminuir o metabolismo do fruto sem, no entanto, alterar a fisiologia do amadurecimento a ponto de causar algum distúrbio. Por ser uma fruta tropical sensível ao frio, o mamão não tolera temperaturas de armazenamento muito baixas. Embora o mamão seja uma das frutas mais consumidas no país, a oferta para mercados interno e também externo pode ser ampliada pela redução das perdas pós-colheita, mantendo-se a qualidade dos frutos. Para isso, torna-se necessário o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de conservação, possíveis apenas com o conhecimento de como tais técnicas interferem no processo do amadurecimento.

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do bloqueio da ação do etileno e do armazenamento refrigerado no amadurecimento do mamão ‘Golden’.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Revisão Bibliográfica

O mamão é um fruto bastante comercializado, mas muito perecível, apresentando grande perda pós-colheita. Dentre as técnicas utilizadas para estender a vida pós-colheita dos frutos estão o bloqueio da ação do etileno e o armazenamento refrigerado.

De acordo com Sisler e Yang (1984) e Oetiker e Yang (1995), o etileno exerce papel fundamental na regulação dos processos que ocorrem durante o amadurecimento de frutos climatéricos, tais como, a atividade respiratória, a produção autocatalítica de etileno e mudanças na coloração e textura dos frutos. Em trabalho conduzido por An e Paull (1990), a aplicação exógena de 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno estimulou o amadurecimento de mamões, evidenciado pelo amolecimento da polpa, degradação da clorofila e síntese de carotenóides na casca. Como cada processo é controlado e coordenado pelo etileno durante o amadurecimento é uma questão ainda não completamente esclarecida. Além disso, essas mudanças variam entre as espécies e até mesmo entre variedades. Em certas variedades de pêssago, o amolecimento da polpa iniciou-se quando a produção de etileno ainda era baixa, sendo que o pico de etileno somente ocorreu após o fruto atingir firmeza entre 10 e 20 N (TONUTTI; BONGHI; RAMINA, 1996).

O etileno tem grande influência na atividade de enzimas que degradam a parede celular (BRUMMELL; HARPSTER, 2001), sendo essa relação demonstrada em espécies como tomate (SITRIT; BENNETT, 1998), abacate (BUSE; LATIES, 1993) e banana (LOHANI; TRIVEDI; NATH, 2004). Em melões que expressam a ácido aminociclopropano carboxílico (ACC) antisense, o amolecimento é completamente bloqueado (GUIS et al., 1997). Paull e Chen (1983) e Fonseca et al. (2002) relatam que a perda da firmeza ocorre diferentemente entre as variedades de mamão, fato que tem estreita relação com a qualidade e manejo pós-colheita.

Inibidores da ação do etileno são particularmente interessantes do ponto de vista da conservação dos alimentos, por inibir tanto a ação do etileno endógeno, quanto do exógeno (FENG et al., 2000), além de proporcionar uma ótima ferramenta para estudo de processos relacionados ao etileno. O 1-metilciclopropeno (1-MCP), ciclopropeno muito estudado, compete com o etileno pelo sítio receptor, impedindo que o etileno se ligue e promova resposta celular (SISLER; SEREK, 1997). O 1-MCP tem se mostrado um antagonista efetivo da ação do etileno

em banana (GOLDING et al., 1998), maçã (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999), morango (TIAN et al., 2000), abacate (FENG et al., 2000), pêra (WILD; WOLTERING; PEPPELENBOS, 1999), entre outras espécies. Ainda, o 1-MCP pode modular a perda de firmeza de frutos (LOHANI; TRIVEDI; NATH, 2004), com efeito diferencial, dependendo da enzima considerada (JEONG; HUBER; SARGENT, 2002). O retardo da perda de firmeza com a utilização do 1-MCP tem sido relatado em diversas espécies como abacate (KLUGE et al., 2002), damasco (FAN; ARGENTA; MATTHEIS, 2000) e mamão (JACOMINO et al., 2002). Maças tratadas com $1 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP demonstraram redução no amolecimento, na produção de etileno e respiração (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999).

A refrigeração é a técnica mais utilizada para o controle do amadurecimento. A exportação marítima, apesar de exigir maior tempo de conservação dos frutos, é responsável por uma redução de até 70% no custo de transporte, quando comparada à exportação aérea (GLOBO RURAL, 2002). Para que a qualidade dos frutos seja conservada, é necessário armazenamento refrigerado por um período que varia de 15 a 20 dias.

Com a redução da temperatura, as reações enzimáticas, principalmente aquelas ligadas à respiração e senescência, ocorrem mais lentamente, minimizando as perdas dos atributos de qualidade dos frutos. Segundo Kader (2002), a respiração do mamão que a 20°C está entre 15 e $35 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, diminui para 4 a $6 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ quando o fruto é transferido para temperatura de 10°C . A tolerância do mamão a temperaturas baixas varia com a maturação e o tempo de exposição. Chen e Paull (1986) observaram que mamões colhidos na maturidade fisiológica, apresentaram sintomas de danos por frio após 2 semanas a 7°C , caracterizados pelo retardamento e desuniformidade no amadurecimento, aumento da susceptibilidade a fungos e, em casos mais severos, escaldaduras na casca e ausência de amadurecimento. Portanto, o simples emprego da refrigeração pode modificar a fisiologia do amadurecimento em mamões. De acordo com An e Paull (1990), mamões armazenados a 10°C por 14 dias amadureceram mais rapidamente quando comparados àqueles que não foram refrigerados. Já em trabalho conduzido por Archbold e Pomper (2003), frutos conhecidos por pawpaw (*Asimina triloba* (L.)) armazenados sob refrigeração apresentaram atraso de 5 dias no pico climatério, quando comparados aos não refrigerados.

3.2.2 Material e Métodos

Mamões do grupo Solo, variedade Golden produzidos no município de Linhares (ES) foram colhidos no estágio 1 de maturação (cor amarela não cobre mais de 15% da superfície de casca de maturação), em junho de 2005, e transportados sob refrigeração a 10°C até Piracicaba-SP (Figura 1).

Figura 1 – Mamões ‘Golden’ no momento da caracterização

Metade dos frutos (embalados em caixas de papelão) foi tratada com 100 nL L⁻¹ de 1-metilciclopropeno (1-MCP) em caixas herméticas de 186 litros por 12 horas a 11°C. A outra metade permaneceu em caixas herméticas, nas mesmas condições de temperatura, porém sem o tratamento com 1-MCP. Para a aplicação do 1-MCP, o produto foi colocado em frascos de vidro e em seguida 3 mL de água deionizada, à temperatura ambiente, foram adicionados ao frasco. Após a agitação do frasco para a dissolução do produto, este foi aberto no interior da caixa que imediatamente foi fechada para evitar o vazamento do gás. Após o tratamento, metade dos frutos tratados e não tratados com 1-MCP foi armazenada a 11±1,5°C e 85-95% UR por 20 dias, sendo que a outra metade permaneceu a 23±1,5°C e 80-90% UR, até o completo amadurecimento definido como casca completamente amarela e/ou firmeza da polpa ≤ 20 N. Ao final do período de armazenamento refrigerado, os frutos foram retirados da câmara de armazenamento e permaneceram também a 23±1,5°C até o completo amadurecimento.

Desta forma o experimento foi constituído pelos seguintes tratamentos:

- a) Frutos não tratados com 1-MCP e mantidos a 23°C;
- b) Frutos tratados com 1-MCP e mantidos a 23°C;

- c) Frutos não tratados com 1-MCP, armazenados a 11°C por 20 dias e em seguida mantidos a 23°C;
- d) Frutos tratados com 1-MCP, armazenados a 11°C por 20 dias e em seguida mantidos a 23°C.

Os frutos foram analisados no início do experimento visando à caracterização do lote e diariamente durante o amadurecimento quanto à cor da casca, firmeza da polpa, atividade respiratória, produção de etileno e atividade da enzima pectinametilesterase (PME). A cada dois dias os frutos foram também analisados quanto aos sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico. Durante o armazenamento refrigerado foram feitas duas avaliações, aos 5 e 15 dias, que compreenderam análises de cor, firmeza, respiração, produção de etileno e atividade da PME.

Análises:

Cor da casca: Determinada com colorímetro (Minolta CR-300, Osaka, Japão), tomando-se 4 leituras por fruto na região de maior diâmetro. Os resultados foram expressos em ângulo de cor Hue (H°), considerando-se a média das quatro leituras. Foram utilizadas 10 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

Firmeza da polpa: Avaliada com penetrômetro digital (53200-Samar, Tr Turoni, Forli, Itália) com ponteira de 8 mm de diâmetro. A casca foi previamente removida com auxílio de um descascador, e as medidas feitas em quatro pontos equidistantes na região de maior diâmetro do fruto. Os dados foram expressos em Newtons (N), considerando-se a média das quatro leituras. Foram utilizadas 10 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

Sólidos solúveis (SS): Foram retiradas duas amostras da polpa em lados opostos da região de maior diâmetro do fruto. Em seguida essas amostras foram prensadas e o suco resultante foi avaliado em refratômetro digital com correção automática de temperatura (Atago PR-101, Atago Co Ltda., Tokyo, Japão). Os resultados foram expressos em °Brix, considerando-se a média das duas leituras. Foram utilizadas 5 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 frutos.

Acidez titulável (AT): Para essa determinação, 10 g da polpa foram diluídas em 90 mL de água destilada. A titulação foi feita com hidróxido de sódio (0,1 N) até que a solução atingisse pH 8,1 (ponto de virada da fenolftaleína). Os cálculos foram realizados segundo Carvalho et al. (1990) e

os resultados expressos em g de ácido cítrico por 100 g de polpa. Foram utilizadas 5 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 frutos.

Ácido ascórbico: Para essa determinação, 5 g da polpa foram diluídas em 25 mL de ácido oxálico 1%. A titulação foi feita com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol. Os cálculos foram realizados segundo Carvalho et al. (1990) e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa. Foram utilizadas 5 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 frutos.

Atividade respiratória e produção de etileno: Para as determinações de respiração e produção de etileno, os frutos foram colocados em recipientes herméticos de vidro com capacidade de 1700 mL, previamente expostos às condições de temperatura e umidade do experimento. Após 1 h, amostras de 1 mL de gás foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de uma seringa (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo Thermo Finnigan Trace 2000GC. Após as medidas, os frascos foram abertos e os frutos retirados. O cromatógrafo estava equipado com coluna capilar Porapack N, com 2 m de comprimento e regulada para 80°C, com hidrogênio como gás de arraste (40 mL min⁻¹). Para as análises de respiração (CO₂) foi utilizado metanador a 350°C. As amostras de gases foram analisadas por um detector de ionização de chama a 250°C. A respiração e a produção de etileno foram determinadas pela diferença entre a concentração gasosa inicial (quando os frascos foram fechados) e final (após 1 h), sendo expressas em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. Foram realizadas 10 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto. Os mesmos frutos foram utilizados durante todo o período de análise.

Atividade da pectinametilesterase: A atividade da pectinametilesterase (PME) foi avaliada determinando-se por titulometria a liberação dos grupos carboxílicos ácidos resultantes da ação da enzima (KERTESZ, 1951). Porções retangulares de polpa (que compreendiam epicarpo, mesocarpo e endocarpo) de aproximadamente 5 g, previamente congeladas em nitrogênio líquido, foram homogeneizadas em 20 mL de solução de NaCl 0,2 N a 5°C. Após 10 min a 1°C, 5 mL deste extrato foi adicionado a 30 mL de pectina cítrica 1%, pH 7,0, diluída em NaCl 0,2 N e a mistura teve o pH rapidamente corrigido para 7. A titulação do substrato foi realizada utilizando-se NaOH 0,01 N, durante 10 min, de modo que seu pH fosse mantido em 7. A atividade foi expressa em $\mu\text{equivalente-grama de ésteres hidrolisados por grama de polpa por unidade de tempo}$ ($\mu\text{Eq g}^{-1} \text{ s}^{-1}$). Foram utilizadas 5 repetições, sendo cada repetição constituída de 1 fruto.

O delineamento experimental para todas as análises foi inteiramente ao acaso, sendo os dados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

3.2.3 Resultados e Discussão

Mamões ‘Golden’ não tratados com 1-MCP apresentaram atividade respiratória constante com valor médio de $30 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, durante os 6 dias de armazenamento a 23°C (Figura 2A). O aumento da respiração no 7º dia parece ser consequência do estado sobremaduro em que os frutos se apresentavam (aparência comprometida, murchos) e do início do aparecimento de fungos.

Figura 2 - Atividade respiratória e produção de etileno de mamões ‘Golden’ mantidos a 23°C (A e C) e armazenados a 11°C por 20 dias, seguido de transferência para 23°C (B e D). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 10$). Linhas verticais pontilhadas indicam o período em que os frutos permaneceram a 11°C

Ao contrário de alguns autores como Wills e Widjanarko (1995), que encontraram pico na atividade respiratória de $36 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ após 5 dias da colheita, no presente estudo não foi observado pico na respiração, típico dos frutos classificados como climatéricos. Pela definição, frutos climatéricos são aqueles que exibem aumento significativo na respiração durante o amadurecimento, seguido por mudanças nos atributos de qualidade (RHODES, 1980). O significado do pico respiratório durante o amadurecimento dos frutos ainda não está totalmente esclarecido. Solomos (1977) apresentou trabalhos que comprovam que a energia gerada pela respiração basal já seria suficiente para que as transformações bioquímicas durante o amadurecimento se completassem, não sendo necessária uma elevação na respiração. Além disso, a liberação de CO_2 resulta do funcionamento de uma série de processos bioquímicos e, relacionar as transformações que ocorrem com o amadurecimento exclusivamente ao aumento da respiração parece ser uma visão bastante simplista. Outro fato que contribui para a dificuldade na classificação dos frutos quanto à respiração é que o aparecimento da elevação na atividade respiratória depende de fatores como, por exemplo, variedades diferentes e condições ambientais do cultivo (LELIÈVRE et al., 1997b).

Frutos que receberam aplicação de 1-MCP tiveram redução na atividade respiratória (Figura 2A). Durante os cinco primeiros dias de amadurecimento, a respiração desses frutos foi de aproximadamente $19 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, cerca de 40% menor quando comparados aos frutos não tratados. A partir de então, houve aumento da respiração, atingindo máximo de $29 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ aos 7 dias de armazenamento, valor este que se aproximou da respiração média dos frutos não tratados (Figura 2A). O 1-MCP compete com o etileno pelo sítio receptor, impedindo que o etileno se ligue e desencadeie respostas nas células, como por exemplo o estímulo do metabolismo (SISLER; SEREK, 1997). Jacomino et al. (2002) demonstraram que a atividade respiratória em mamões apresentou decréscimo de 50% quando estes receberam a aplicação do 1-MCP. Em abacates a redução chegou a 70% (JEONG; HUBER, SARGENT, 2002). Outros trabalhos também relatam a diminuição na respiração com a aplicação do 1-MCP (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999; GOLDING et al., 1998; ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2003).

A respiração dos frutos tratados e não tratados foi reduzida durante os vinte dias de armazenamento a 11°C com valores de $7 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 2B). Kader (2002) verificou que a respiração do mamão que a 20°C está entre 15 e $35 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, decresce para 4 a 6 mL CO_2

$\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, quando o fruto é transferido para temperatura de 10°C . As reações enzimáticas, inclusive aquelas relacionadas à respiração, ocorrem mais lentamente em temperaturas baixas, contribuindo para o decréscimo da atividade respiratória. Para processos enzimáticos e fisiológicos, o coeficiente Q_{10} , derivado da Lei de Arrhenius, postula que a velocidade dessas reações aumenta de duas a três vezes a cada aumento de 10°C na temperatura e vice e versa.

A respiração aumentou assim que os frutos saíram do armazenamento refrigerado, atingindo valores constantes ($P>0,05$) após o 2º dia a 23°C de aproximadamente 20 e $25 \text{ mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ para frutos tratados e não tratados com 1-MCP, respectivamente (Figura 2B). A diferença entre a atividade respiratória de frutos tratados e não tratados foi reduzida depois que os frutos passaram pelo armazenamento refrigerado, principalmente devido à diminuição na respiração dos frutos não tratados, quando comparados àqueles que não foram refrigerados.

A produção de etileno dos frutos não tratados com 1-MCP, que se manteve em $1,2 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ durante os dois primeiros dias a 23°C , aumentou cerca de duas vezes a partir do 2º dia ($P<0,05$), mantendo-se nesse patamar até o final do amadurecimento com valor médio de $2,8 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Figura 2C), produção inferior à encontrada por Wills e Widjanarko (1995) mas similar ao observado por Moya-León; Moya e Herrera (2004). Nota-se que também na produção de etileno não houve pico, o que ocorreu foi um aumento na produção. De acordo com Biale; Young e Olmstead (1954) a produção de etileno aumenta drasticamente durante o amadurecimento de frutos que apresentam respiração climatérica, podendo o pico dessa produção coincidir ou ocorrer antes da máxima atividade respiratória. Apesar do aumento na produção de etileno, não houve estímulo correspondente na respiração dos frutos. Assim, a respiração e o etileno podem não estar totalmente relacionados.

O 1-MCP reduziu a produção de etileno durante o amadurecimento dos frutos não refrigerados e mantidos a 23°C (Figura 2C). No 3º dia de armazenamento a 23°C , quando a produção de etileno nos frutos não tratados se manteve em torno de $2,8 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, frutos que receberam 1-MCP apresentavam produção de apenas $0,3 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Figura 2C). Fan; Blankenship e Mattheis (1999) verificaram que a produção de etileno em maçãs tratadas com 1-MCP foi 4 vezes menor quando comparadas àquelas não tratadas. De acordo com Jeong; Huber e Sargent (2002), o 1-MCP não só retardou, mas também diminuiu pela metade a produção de etileno em abacates. O 1-MCP compete com o etileno pelo sítio receptor, impedindo que o etileno se ligue à molécula receptora (SISLER; SEREK, 1997). Além de inibir a ligação e,

portanto, a ação do etileno, o 1-MCP pode diminuir a produção do etileno através de alterações na síntese de enzimas responsáveis pela biossíntese do etileno. Nakatsuka et al. (1997) demonstraram que a aplicação de 1-MCP em tomates inibiu a síntese das enzimas ACC oxidase e sintase, fundamentais para a biossíntese de etileno.

A produção de etileno, embora bem menor nos frutos tratados com 1-MCP, apresentou aumento ($P < 0,05$) constante, a partir do 5º dia, com valor máximo de $3,4 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ após 9 dias a 23°C (Figura 2C). Essa recuperação gradual sugere a síntese de novos receptores, uma vez que o 1-MCP se liga ao sítio de maneira irreversível (SISLER; DUPILLE; SEREK, 1996).

Ao contrário da respiração, a produção de etileno não aumentou assim que os frutos foram retirados da refrigeração (Figura 2D). Fica claro que o armazenamento a 11°C por 20 dias prejudicou a produção de etileno durante o período em que os mesmos permaneceram a 23°C . A produção de etileno nos frutos não tratados permaneceu muito baixa e constante, com valores de $0,12 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ até o 3º dia a 23°C , aumentando ligeiramente até o 6º dia, quando atingiu $0,95 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. Mesmo com esse aumento, nota-se que o valor máximo atingido ainda foi 3 vezes menor quando comparado ao daquele fruto não tratado e que não passou pelo armazenamento refrigerado (Figura 2C e D). A inibição prolongada da produção de etileno, pode ter refletido em lenta capacidade de recuperação da sensibilidade dos receptores, ou seja, insuficiente para estimular a produção subsequente durante o armazenamento a 23°C . O armazenamento refrigerado pode ter prejudicado o metabolismo de maneira tal que mesmo a síntese de novos receptores não seria suficiente para a produção autocatalítica. Este fato nos leva a concluir que além de uma concentração mínima é necessário também que os sítios receptores fiquem expostos ao etileno por um tempo mínimo (GOLDING et al., 1998).

Frutos tratados com 1-MCP e armazenados sob refrigeração também apresentaram baixa produção de etileno, cerca de $0,13 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ e aumento a partir do 5º dia, atingindo $1,93 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ aos 7 dias (Figura 2D). Nair; Singh e Tan (2004) observaram que mangas armazenadas a 5°C durante 14 dias tiveram baixa atividade da ACC oxidase e sintase mesmo após transferência para temperaturas mais altas, o que refletiu em baixa produção de etileno durante este período. A supressão da produção de etileno por baixas temperaturas é descrita em frutos como banana (TAKEDA et al., 1997) e tomate (McDONALD; McCOLLUM; BALDWIN, 1999). No entanto, Wang (1982) propõe que o etileno é estimulado em resposta ao estresse por baixa temperatura.

Entretanto, nesse estudo, o mamão perdeu a capacidade de produzir etileno quando retirado do armazenamento refrigerado.

Figura 3 - Firmeza da polpa e atividade da pectinametilesterase (PME) de mamões 'Golden' mantidos a 23°C (A e C) e armazenados a 11°C por 20 dias, seguido de transferência para 23°C (B e D). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 10). Linhas verticais pontilhadas indicam o período em que os frutos permaneceram a 11°C. Dia 0 representa a caracterização dos frutos

Frutos que permaneceram a 23°C sem o tratamento com 1-MCP apresentaram decréscimo acentuado na firmeza da polpa, atingindo a firmeza de consumo (≤ 20 N) no 4º dia. As maiores perdas na firmeza ocorreram nos primeiros dias de amadurecimento ($P < 0,05$). Já no 2º dia a 23°C, os mamões haviam perdido 60% da sua firmeza inicial (Figura 3A). O mesmo foi observado para outras variedades de mamão para as quais os maiores decréscimos na firmeza do

fruto ocorreram enquanto os frutos ainda estavam predominantemente verdes (WILLS; WIDJANARKO, 1995). A perda da firmeza está principalmente ligada ao aumento da solubilização das pectinas presentes na parede celular (HUBER, 1983). No processo de amolecimento do mamão, várias enzimas hidrolíticas são responsáveis por essa solubilização, principalmente a poligalacturonase, a β -galactosidase e a pectinametilesterase (PME) (LAZAN; SELAMAT; ALI, 1995). A atividade da PME nos mamões não refrigerados e não tratados com 1-MCP aumentou ao longo do amadurecimento, principalmente a partir do 3º dia ($P < 0,05$), atingindo valores de aproximadamente $8,2 \mu\text{Eq g}^{-1} \text{s}^{-1}$ até o final do amadurecimento (Figura 3C). Quimicamente, as pectinas são polímeros de ácido galacturônico (ácido poligalacturônico), no qual os grupos carboxílicos podem estar esterificados com metanol. A PME remove os grupos metílicos, o que provoca desestruturação e solubilização parcial da pectina (FISCHER, 1991). Paull; Gross e Qiu (1999) relatam atividades decrescentes da PME durante o amadurecimento de mamões, no entanto, Paull e Chen (1983) encontraram atividades crescentes com o progresso do amolecimento, assim como reportado por Lazan; Selamat e Ali (1995).

Frutos que receberam aplicação de 1-MCP mantiveram firmeza alta, em torno de 115 N, e constante ($P > 0,05$) até o final do armazenamento (Figura 3A). A retenção da firmeza em frutos tratados com 1-MCP tem sido verificada em várias espécies como abacate (FENG et al., 2000), damasco (FAN; ARGENTA; MATTHEIS, 2000), maçãs (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999) e bananas (GOLDING et al., 1998). A exposição dos frutos ao 1-MCP diminuiu a produção do etileno (Figura 2C) e inibiu a perda de firmeza durante o armazenamento a 23°C (Figura 3A), indicando o envolvimento deste hormônio no processo de amolecimento. De acordo com Lelièvre et al. (1997a), o amolecimento é um dos processos do amadurecimento mais sensíveis ao etileno. Apesar do aumento gradual na produção de etileno nos frutos tratados (Figura 2C), nota-se que a firmeza se manteve alta (Figura 3A). Este fato sugere que uma concentração mínima de etileno, por um determinado tempo, é necessária para iniciar e dar continuidade a este processo. Zegzouti et al. (1997) verificaram que alguns processos são desencadeados logo após o início do amadurecimento, enquanto outros não começam mesmo após alguns dias de alta produção de etileno. Além da questão da dependência ao etileno, ainda há que se investigar por quanto tempo estes processos são dependentes desse hormônio. Golding et al. (1998) verificaram que alguns eventos bioquímicos na banana necessitam de 12 h de exposição ao etileno, enquanto outros precisam que os sítios estejam ativos por no mínimo 24 h.

É cada vez mais aceita a hipótese de que o etileno deva estar presente por um determinado tempo para manter a transcrição de genes necessários ao amadurecimento, o que levou Theologis (1992) a afirmar que o etileno pode ser considerado um modulador e não somente um gatilho às mudanças durante o amadurecimento. Ao contrário dos frutos não tratados, a atividade da PME permaneceu baixa e constante ($P>0,05$) com valores ao redor de $4 \mu\text{Eq g}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Figura 3C).

Mesmo armazenados a 11°C os frutos que não receberam 1-MCP apresentaram redução na firmeza ($P<0,05$). Já aos 5 dias de refrigeração estes frutos haviam perdido 60% da firmeza inicial, saindo do armazenamento refrigerado com firmeza da polpa de 51 N (Figura 3B). Chen e Paull (1986) também verificaram redução da firmeza em mamões durante o armazenamento refrigerado a 2°C . No presente experimento, os frutos continuaram a perder firmeza após o armazenamento refrigerado, atingindo condição de consumo aos 6 dias a 23°C (Figura 3B). Durante o armazenamento refrigerado dos frutos não tratados com 1-MCP houve aumento da atividade da PME ($P<0,05$), que se manteve após a saída da refrigeração em torno de $8 \mu\text{Eq g}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Figura 3D), valor próximo ao máximo atingido nos frutos que não passaram pela refrigeração (Figura 3C).

Frutos tratados com 1-MCP não perderam firmeza durante o armazenamento refrigerado apresentando firmeza de 132 N aos 20 dias de armazenamento a 11°C (Figura 3B). Ao contrário daqueles que receberam 1-MCP e não passaram pela refrigeração, os frutos que foram armazenados a 11°C tiveram diminuição na firmeza durante o armazenamento a 23°C . Mesmo com esse amolecimento, estes frutos não atingiram a firmeza de consumo (Figura 3B). A exposição dos frutos ao armazenamento refrigerado prejudicou a produção do etileno em ambos os tratamentos quando os frutos foram transferidos para 23°C . Mesmo assim, a firmeza nesses frutos decresceu, sendo essa diminuição sempre menor nos frutos expostos ao 1-MCP. Este fato fornece indicações que existem processos ligados ao amolecimento que são independentes do etileno.

A atividade da PME durante o armazenamento refrigerado de frutos tratados com 1-MCP se manteve constante, sem qualquer aumento (Figura 3D). Após a remoção da refrigeração a atividade também não se alterou até o 7º dia, quando então passou a aumentar atingindo valor máximo aos 9 dias de $8 \mu\text{Eq g}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Figura 3D).

Além da atuação de enzimas, mecanismos não enzimáticos de degradação da parede também influem na perda de firmeza, como a geração de hidroxilas a partir do ascorbato

(DUMVILLE; FRY, 2003). Em melões geneticamente modificados para não produzir etileno, Flores et al. (2001) estabeleceram que o amolecimento depende apenas parcialmente do etileno.

De acordo com Jeong; Huber e Sargent (2002), a aplicação do 1-MCP teve efeito diferencial entre as pectinases durante o amolecimento de abacates. Jeong e Huber (2004) também observaram que embora o 1-MCP suprimisse totalmente a atividade da poligalacturonase, a atividade de outras enzimas como as galactosidases e a PME foram diminuídas em termos absolutos, mas apresentaram o mesmo padrão dos frutos controle.

Figura 4 – Cor da casca de mamões ‘Golden’ mantidos a 23°C (A) e armazenados a 11°C por 20 dias, seguido de transferência para 23°C (B). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 10). Linhas verticais pontilhadas indicam o período em que os frutos permaneceram a 11°C. Dia 0 representa a caracterização dos frutos

Quando mantidos a 23°C, tanto os frutos tratados como os não tratados com 1-MCP apresentaram decréscimo no valor de H° , ou seja, perda da coloração verde (Figura 4A). Os frutos tratados com 1-MCP perderam a coloração verde mais lentamente. Enquanto no 7º dia os frutos que não receberam 1-MCP estavam com H° de 83, ou seja, já amarelos, os frutos tratados com 1-MCP ainda exibiam casca esverdeada, com H° de 97,2 (Figuras 4A e 5). Golding et al. (1998) também observaram que bananas tratadas com 1-MCP tiveram perda mais lenta na coloração verde. Apesar da mudança de coloração ao longo do armazenamento a 23°C, os frutos que receberam aplicação do 1-MCP ainda estavam mais verdes aos 10 dias, quando comparados aos frutos controle no final do período de armazenamento (Figura 4A). Além disso, notou-se uma

desuniformidade na cor da casca nos mamões que receberam 1-MCP; aos 10 dias havia frutos completamente amarelos, enquanto outros conservaram a cor verde (Figura 6A).

Figura 5 – Mamões não tratados (A) e tratados com 1-MCP (B) após 7 dias a 23°C

Figura 6 – Aparência externa (A) interna (B) de mamões tratados com 1-MCP após 10 dias a 23°C

É interessante observar que ao longo do período de armazenamento a 23°C, os mamões tratados com 1-MCP se conservaram firmes (Figura 3A), mas apresentaram perda da cor verde (Figura 4A), o que nos faz admitir que o desenvolvimento da cor é menos dependente do etileno quando comparado ao processo de amolecimento. Segundo Flores et al. (2001), enquanto a perda da cor verde em melão é totalmente dependente do etileno, a síntese de pigmentos amarelos não é, acontecendo mesmo sem a presença do hormônio.

Os frutos não tratados apresentaram discreta perda de cor verde durante a refrigeração, com desenvolvimento de pequenas manchas amareladas (Figura 7).

Figura 7 – Mamões não tratados (A) e tratados com 1-MCP (B) após 20 dias a 11°C

O período em que os frutos não tratados permaneceram a 11°C não alterou a perda da cor verde quando os mesmos foram transferidos para 23°C (Figura 4B). Este é mais um indício de que o desenvolvimento da cor é menos dependente do etileno se comparado ao amolecimento da polpa, uma vez que a refrigeração prejudicou a produção de etileno a 23°C. Os frutos não tratados atingiram ângulo de cor (H°) de 83° aos 7 dias após a remoção do armazenamento refrigerado, exatamente o mesmo tempo necessário para os frutos não refrigerados. Nessa data já havia alta incidência de podridão nos frutos (Figura 8A).

Figura 8 – Aparência externa de mamões não tratados e tratados com 1-MCP, após 20 dias de armazenamento a 11°C seguido de 7 (A) e 9 (B) dias a 23°C

Os frutos tratados com 1-MCP e refrigerados atingiram coloração semelhante aos não tratados após 9 dias a 23°C, no entanto nessa data já havia sintomas de podridão (Figura 8B).

Durante o armazenamento a 23°C, o teor de ácido ascórbico nos frutos não tratados aumentou após o 3º dia ($P<0,05$), atingindo em média 77 mg 100 g⁻¹, teor 17% maior quando comparado à caracterização dos frutos (Figura 9A). Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982) também relatam que a quantidade de ácido ascórbico em mamões aumenta quando o fruto amadurece.

Nos frutos tratados com 1-MCP o teor de ácido ascórbico permaneceu constante, ao redor de 65 mg 100 g⁻¹ ao longo de todo o período estudado (Figura 9A). Wolucka e Montagu (2003) propõem que a manose e a L-galactose, utilizadas para a biossíntese de carboidratos da parede celular, são intermediários na via de síntese de ácido ascórbico em plantas. Assim, a degradação da parede celular durante o amadurecimento poderia prover substratos para a síntese de ácido ascórbico. Dessa maneira, a influência do etileno no conteúdo de ácido ascórbico dos frutos pode ser considerada como um efeito indireto, na medida em que a retenção da firmeza provocada pelo 1-MCP seria a responsável por prover menos substratos para síntese de ácido ascórbico.

O teor de ácido ascórbico que durante o armazenamento refrigerado permaneceu constante em ambos os tratamentos, aumentou quando os frutos foram transferidos para temperaturas de 23°C ($P<0,05$), atingindo valores superiores quando comparados aos frutos que não foram refrigerados (Figura 9D).

Apesar do teor de sólidos solúveis nos frutos não tratados ter aumentado ligeiramente, esse acréscimo não foi significativo ($P>0,05$) (Figura 9B). O mamão apresenta teores de amido próximos a 0,5% (SELVARAJ; SUBRAMANYAN; IYER, 1982), portanto, uma quantidade pouco significativa para ser hidrolisada durante o amadurecimento. Esse fato resulta em pouca variação nos teores de sólidos solúveis durante o amadurecimento de mamões. A refrigeração não alterou a concentração dos sólidos solúveis no mamão quando estes foram transferidos para 23°C (Figura 9E). Jacomino et al. (2002) também não verificaram alteração nos sólidos solúveis em mamões que receberam aplicação do 1-MCP.

Figura 9 – Ácido ascórbico, sólidos solúveis e acidez titulável de mamões ‘Golden’ armazenados a 23°C (A, B e C) e mantidos a 11°C por 20 dias, seguido de armazenamento a 23°C (D, E e F). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=5). Linhas verticais pontilhadas indicam o período em que os frutos permaneceram a 11°C. Dia 0 representa a caracterização dos frutos

A acidez nos mamões não tratados aumentou ao longo do armazenamento a 23°C ($P < 0,05$) (Figura 9C). Durante o período pós-colheita, Wills e Widjanarko (1995) observaram aumento na acidez titulável alcançando um máximo no período em que os mamões atingiram plena coloração amarela na casca. A acidez titulável pode aumentar com o amadurecimento, provavelmente em decorrência da formação de ácido galacturônico, proveniente da degradação de pectinas, ou ter seus valores reduzidos em decorrência do processo respiratório ou de sua conversão em açúcares. Sendo o período de amadurecimento de alta atividade metabólica, os ácidos constituem uma excelente reserva energética do fruto, através de sua oxidação no ciclo de Krebs.

Existem diferenças quanto à acidez ao longo do amadurecimento em mamões. Chan et al. (1971) afirmam que o conteúdo do ácido málico tende a decrescer à medida que o mamão amadurece. Selvaraj; Subramanyan e Iyer (1982) também observaram decréscimo na acidez de mamões com o progresso do amadurecimento. Entretanto, Lazan; Selamat e Ali (1995) constataram que a acidez titulável tende a aumentar com o amadurecimento dos frutos, até atingirem aproximadamente 75% da superfície da casca amarela, decrescendo a partir de então.

De qualquer forma o conteúdo de ácidos presentes no mamão é muito baixo quando comparado ao de outros frutos. Nos frutos que foram tratados com 1-MCP, a acidez se manteve constante ($P > 0,05$), e portanto, menor quando comparado aos não tratados (Figura 9C). Quando os frutos foram retirados do armazenamento refrigerado, a acidez aumentou até o 5º dia, quando então decresceu ($P < 0,05$) até valores próximos aos iniciais devido, provavelmente, ao consumo pelo metabolismo (Figura 9F).

3.3 Considerações Finais

Frutos que receberam aplicação do 1-MCP tiveram redução na atividade respiratória, na produção de etileno, no desenvolvimento da cor da casca, na atividade da PME e mantiveram a firmeza alta. Mesmo com o aumento gradual na produção do etileno quando mantidos a 23°C, os frutos tratados com 1-MCP conservaram a firmeza alta, mas, no entanto, apresentaram perda da coloração verde. Pode-se dizer que o etileno tem maior influência no processo de amolecimento quando comparado com o desenvolvimento da cor da casca, devendo existir uma concentração tal que seja responsável pelo início e sustentação da perda de firmeza.

A exposição dos frutos a 11°C por 20 dias prejudicou a produção do etileno quando os frutos foram transferidos para 23°C; mesmo assim a firmeza nesses frutos decresceu, sendo essa diminuição sempre menor nos frutos expostos ao 1-MCP.

A inibição prolongada do etileno, ou a inibição dos sítios receptores nos frutos colhidos em estágio de maturação precoce, reflete em lenta capacidade de recuperação da ação e produção de etileno, sugerindo que o uso de bloqueadores da ação do etileno nesses frutos deva ser feito com cautela.

Referências

AN, J.; PAULL, R.E. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, p. 949-953, 1990.

ARCHBOLD, D.D.; POMPER, K.W. Ripening pawpaw exhibit respiratory and ethylene climacterics. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 30, p. 99-103, 2003.

ARGENTA, L.C.; FAN, X.; MATTHEIS, J.P. Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by d'Anjou cv. Pear fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 51, p. 3858-3864, 2003.

BIALE, J.B.; YOUNG, R.E.; OLMSTEAD, A.J. Fruit respiration and ethylene production. **Plant Physiology**, Rockville, v. 29, p.168-174, 1954.

BUSE, E.L.; LATIES, G.G. Ethylene-mediated posttranscriptional regulation in ripening avocado (*Persea americana*) mesocarp disc. **Plant Physiology**, Rockville, v. 102, p. 417-423, 1993.

BRUMMELL, D.A.; HARPSTER, M.H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 77, p. 311-340, 2001.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121p.

CHAN, H.T.; CHANG, T.S.K.; STAFFORD, A.E. BREKKE, J.E. Nonvolatile acids of papaya. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 19, p. 263-265, 1971.

CHEN, N.; PAULL, R.E. Development and prevention of chilling injury in papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 111, p. 639-643, 1986.

DUMVILLE, J.C.; FRY, S.C. Solubilisation of tomato fruit pectins by ascorbate: a possible non-enzymic mechanism of fruit softening. **Planta**, Berlin, v. 217, p. 951-961, 2003.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 124, p.690-695, 1999.

FAN, X.; ARGENTA, L.C.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 135-142, 2000.

FENG, X.; APELBAUM, A.; SISLER, E.C.; GOREN, R. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 143-150, 2000.

FISCHER, R.L. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 675-703, 1991.

FLORES, F.; BEN AMOR, M.; JONES, B.; PECH, J.C.; BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A.; ROMOJARO, F. The use of ethylene-suppressed lines to assess differential sensitivity to ethylene of the various ripening pathways in Cantaloupe melons. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 113, p. 128-133, 2001.

FONSECA, M.J.O.; LEAL, N.R.; CENCI, S.A.; CECON, P.R.; BRESSAN-SMITH, R.E. Escalas de maduración de papaya (*Carica papaya* L.) var. Sunrise solo y Golden. **Simiente**, Santiago, v. 72, p. 57, 2002.

GLOBO RURAL. Exportação de mamão capixaba troca transporte aéreo pelo marítimo. Disponível em: <globo rural.globo.com/nd/noticia.asp?cod_nd=1850>. Acesso em 11 set 2002.

GOLDING, J.B.; SHEARER, D.; WYLLIE, S.G.; McGLASSON, W.B. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, p. 87-98, 1998.

GUIS, M.; BOTONDI, R.; BEN AMOR, M.; AYUB, R.; BOUZAYEN, L.M.; PECH, J.C.; LATCHE, A. Ripening-associated biochemical traits of cantaloupe Charentais melon expressing an ACC oxidase transgene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, p. 748-751, 1997.

HUBER, D.J. The role of cell wall hydrolases in fruit softening. **Horticultural Reviews**, New York, v. 5, p. 169-219, 1983.

JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R.C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropano. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 303-308, 2002.

JEONG, J.; HUBER, D.J. Suppression of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit softening and changes in cell wall matrix polysaccharides and enzyme activities: differential responses to 1-MCP and delayed ethylene application. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 129, p. 752-759, 2004.

JEONG, J.; HUBER, D.J.; SARGENT, S.A. Influence of 1-methylcyclopropane (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, p. 241-256, 2002.

KADER, A.A. **Papaya.** Disponível em
<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/papaya>. Acesso em 20 mai 2002.

KERTESZ, Z.I. Pectic enzymes. In:_____. **The pectic substances.** Geneva: Intersciencepublishers, 1951. chap. 14, p. 333-375.

KLUGE, R.A.; JACOMINO, A.P.; OJEDA, R.M.; BRACKMANN, A. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 895-901, 2002.

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, p. 106-112, 1995.

LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, p. 727-739, 1997a.

LELIÈVRE, J.M.; TICHIT, L.; DAO, P.; FILLION, L.; YOUNG-WAO, N.; PECH, J.C.; LATCHÉ, A. Effects of chilling on the expressions of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pera (*Pyrus communis* L.) fruits. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 33, p. 847-855, 1997b.

LOHANI, S.; TRIVEDI, P.K.; NATH, P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 31, p. 119-126, 2004.

McDONALD, R.E.; McCOLLUM, T.G.; BALDWIN, E.A. Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low temperatures storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 16, p. 147-155, 1999.

MOYA-LEÓN, M.A.; MOYA, M.; HERRERA, R. Ripening of mountain papaya (*Vasconcellea pubescens*) and ethylene dependence of some ripening events. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 34, p. 211-218, 2004.

NAIR, S.; SINGH, Z.; TAN, S.C. Chilling injury in relation to ethylene biosynthesis in 'Kensington Pride' mango fruit. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v. 79, p. 82-90, 2004.

NAKATSUKA, A.; SHIOMI, S.; KUBO, Y.; INABA, A. Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 38, p. 1103-1110, 1997.

OETIKER, J.H.; YANG, S.F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 398, p. 167-178, 1995.

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, p. 382-385, 1983.

PAULL, R.E.; GROSS, K.; QIU, Y. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 16, p. 79-89, 1999.

RHODES, M.J.C. The maturation and ripening of fruits. In: THIMANN, K.V.; DELMAN, R.C.; ROTH, G.S. (Ed.) **Senescence in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 157-205.

SELVARAJ, Y.; SUBRAMANYAN, M.D.; IYER, C.P.A. Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 57, p. 135-143, 1982.

SISLER, E.C.; YANG, S.F. Ethylene, the gaseous plant hormone. **Bioscience**, Washington, v. 34, p. 234-238, 1984.

SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 100, p. 577-582, 1997.

SISLER, E.C.; DUPILLE, E.; SEREK, M. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 18, p.79-86, 1996.

SITRIT, Y.; BENNETT, A.B. Regulation of tomato fruit polygalacturonase mRNA accumulation by ethylene: a re-examination. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, p. 1145-1150, 1998.

SOLOMOS, T. Cyanide-resistant respiration in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 279-297, 1977.

TAKEDA, Y.; YOZA, K.I.; NOGATA, Y.; KUSUMOTO, K.I.; VORAGEN, A.G.J.; OHTA, H. Putrescine accumulation in banana fruit with ripening during storage. **Phytochemistry**, New York, v. 46, p. 57-60, 1997.

THEOLOGIS, A. One rotten apple spoils the whole bushel: the role of ethylene in fruit ripening. **Cell**, Cambridge, v. 70, p. 181-184, 1992.

TIAN, M.S.; PRAKASH, S.; ELGAR, H.J.; YOUNG, H.; BURMEISTER, D.M.; ROSS, G.S. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 32, p. 83-90, 2000.

TONUTTI, P.; BONGHI, A.; RAMINA, A. Fruit firmness and ethylene biosynthesis in three cultivars of peach (*Prunus persica* L. Batsch). **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 71, p. 141-147, 1996.

WANG, C.Y. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. **HortScience**, Alexandria, v. 17, p. 173-186, 1982.

WILD, H.P.J.; WOLTERING, E.J.; PEPPELENBOS, W. Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, p. 837-844, 1999.

WILLS, R.B.H.; WIDJANARKO, S.B. Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v. 35, p. 1173-1176, 1995.

WOLUCKA, B.A.; VAN MONTAGU, M. GDP-mannose 3',5'-epimerase forms GDP-L_gulose, a putative intermediate for the novo biosynthesis of vitamin C in plants. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 278, p. 47483-47490, 2003.

ZEGZOUTI, H.; JONES, B.; MARTY, C.; LELIÈVRE, J.M.; LATCHE, A.; PECH, J.C.; BOUZAYEN, M. ER5, a tomato cDNA encoding an ethylene-responsive LEA-like protein; characterization and expression in response to drought, ABA and wounding. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 35, p. 847-854, 1997.