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

**Estudo das relações entre etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP) em
mamões ‘Golden’**

Rafaela Vieira Façanha

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

**Piracicaba
2016**

Rafaela Vieira Façanha
Bacharel em Ciências Biológicas

Estudo das relações entre etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP) em mamões ‘Golden’
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2016

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

Façaanha, Rafaela Vieira

Estudo das relações entre etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP) em mamões
'Golden' / Rafaela Vieira Façaanha -- versão revisada de acordo com a resolução
CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2016.
119 p. : il.

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

1. *Carica papaya* L. 2. Pós-colheita 3. Concentração endógena 4. Aroma I. Título

CDD 634.651
F137e

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

*Aos meus pais,
Ao meu irmão,
Ao meu sobrinho tão esperado,
E ao meu querido Thiago,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela vida e por cuidar de todos os detalhes durante esses quatro anos de doutorado e também por todas as bênçãos derramadas em minha família nesse tempo em que estive distante deles.

Aos meus pais, por tudo que fizeram por mim. Apesar de não terem tido as mesmas oportunidades que eu, vocês acreditam que a educação é o melhor caminho. Obrigada por todas as vezes que vocês não mediram esforços para que eu e meu irmão tivéssemos a melhor educação e o melhor conforto. Obrigada mãe, por ser um grande referencial para mim, pois sempre te vi muito positiva, misericordiosa, alegre e corajosa.

Ao meu querido irmão Rubens, por todo o incentivo e força para que eu enfrentasse com coragem todas as situações novas em minha vida. Agora, nossa alegria será maior com a chegada do Rodrigo!

Ao meu noivo e amigo Thiago Vieira. Obrigada por participar de toda intensidade desses últimos quatro anos, sempre com muita paciência, esperança e exemplo de fé. Com certeza, você tornou essa jornada mais leve e feliz. Sou muito grata pela sua confiança!

Ao meu orientador Prof. Dr. Angelo Pedro Jacomino por toda ajuda, orientação, cuidado, conselhos e oportunidades. Admiro muito como pessoa e como profissional e, certamente, contribuiu muito para o meu crescimento. Foi muito bom trabalhar com você. Levarei inúmeros exemplos da sua conduta comigo.

Ao Professor Dr. Eduardo Purgatto pela ajuda e disponibilidade na realização de algumas análises e pelas sugestões e contribuições na discussão dos resultados da tese. Dele, levo a dedicação e a empolgação em fazer ciência.

Aos Dr. Jeffrey K. Brecht e Dr. Donald J Huber da Universidade da Flórida, por terem me recebido em seus laboratórios e disponibilizado a estrutura para realização dos experimentos. Neste período, além de ter sido uma ótima experiência profissional, também me proporcionou grande crescimento pessoal. Obrigada também ao Dr. Steve A. Sargent pela amizade e momentos de coffee time e a toda equipe de técnicos do laboratório, em especial ao James Lee, que foi imprescindível em todos os momentos.

Ao professor Dr. Ricardo Kluge por disponibilizar, como sempre, o seu laboratório para o desenvolvimento de diversas análises bioquímicas.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo, pela oportunidade e estrutura para a realização deste trabalho.

À coordenação e toda equipe docente do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas (ESALQ-USP), pela oportunidade da realização do curso de doutorado.

À empresa Bello Fruit e ao grupo Brooks Tropical, pelo fornecimento dos mamões utilizados neste trabalho, em especial, ao gerente Rodrigo Viana, pelo empenho em disponibilizar frutos nas condições necessárias para a realização do trabalho.

A CAPES pela bolsa concedida durante o doutorado.

À secretária do PPG em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Solizete Silva, pela amizade, eficiência e prontidão em ajudar e solucionar problemas, além dos diversos momentos de descontração.

Ao técnico do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal (LPV), Marcos Jose Trevisan, pelas conversas e auxílio em diversos momentos! Marcos, muito obrigada pela sua amizade e ajuda dispensada.

Aos funcionários e professores do Departamento de Produção Vegetal, em especial ao Aparecido, Éder, Cleusa, Bete e Célia pelo auxílio em diversos momentos e conversas alegres.

Aos colegas do PPG de Fisiologia e Bioquímica de Plantas, por dividirem os momentos de tensão e de alegria.

Aos queridos amigos que a ESALQ me proporcionou: Aline, Ana Carolina, Angela, Naiara Célica, Nayara Roberto, Nayara Marcon, Tati, Thaís, Patrícia, Poliana, Rafael Tassinari, Rafael Branco, Sibelle, Vanessa, Yuri, dentre outros. Todos vocês contribuíram para que eu chegasse até aqui, tornando este período mais feliz e leve! Obrigada pelas inúmeras ajudas e sugestões em diversos momentos. A amizade de cada um de vocês é muito valiosa e levarei sempre em meu coração!

A todos que fazem parte e que se empenham para a obra de Cristo dentro da Universidade, por meio do GOU e GPP. Que não nos falte fé e perseverança nessa caminhada. Em especial, agradeço às amigas da Carol Rabelo e Fredy Aguilar pelos momentos de partilha e ombro amigo.

Às amigas que Deus me presenteou em Gainesville, principalmente, Ana Clara e Merce. Meninas, obrigada pelos momentos de conversas, passeios, muito trabalho e comprinhas. Levo vocês no meu coração!

Às minhas amigas de longas datas, Ana Carolina, Caroline, Cecília, Cinthya, Danielle, Delane, Juliana, Lidiane, Lígia, Luciana, Nádia, Nara, Priscilla, Ravena, Shérída e Viviane, pela amizade sincera que cresce a cada dia. Deus me presenteou com a amizade de vocês e sei que posso sempre contar com cada uma apesar de toda a distância geográfica que existe.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse sonho.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
Referências	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 A cultura do mamoeiro	17
2.2 O papel do etileno no amadurecimento dos frutos	18
2.3 O uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP)	19
2.4 Relações entre a concentração endógena de etileno e o 1-MCP	21
Referências	23
3 FISIOLOGIA, BIOQUÍMICA E QUALIDADE DE MAMÃO ‘GOLDEN’ EM RESPOSTA À APLICAÇÃO ASSOCIADA DE ETILENO E 1-METILCICLOPROPENO (1-MCP)...	27
Resumo	27
Abstract	27
3.1 Introdução	28
3.2 Material e Métodos	30
3.2.1 Metodologia das análises	31
3.2.2 Análise dos dados	34
3.3 Resultados e discussão	34
3.3.1 Firmeza da polpa e atividade da enzima pectinametilesterase (PME)	34
3.3.2 Coloração da casca	38
3.3.3 Pigmentos da casca e da polpa: teores de clorofila e carotenóides	41
3.3.4 Sólidos solúveis (SS)	46
3.3.4.1 Atividades Fisiológicas	46
3.3.4.2 Produção de etileno	49
3.3.4.3 Atividade respiratória	49
3.3.5 Concentração endógena de etileno (CEE)	51
3.3.6 Atividade da enzima ACC oxidase	53
3.3.7 Conteúdo de ACC livre na polpa	44
3.4 Conclusões	54
Referências	54

4 COMPOSTOS VOLÁTEIS RESPONSÁVEIS PELO AROMA DE MAMÕES ‘GOLDEN’ SUBMETIDOS À APLICAÇÃO ASSOCIADA DE ETILENO E 1- METILCICLOPREOPENO (1-MCP)	63
Resumo.....	63
Abstract	63
4.1 Introdução	64
4.2 Material e Métodos	69
4.3 Resultados e Discussão	68
4.4 Conclusões	83
Referências.....	84
5 A CONCENTRAÇÃO ENDÓGENA DE ETILENO MODULA A SENSIBILIDADE DE MAMÕES ‘GOLDEN’ AO 1-METILCICLOPROPENO (1-MCP).....	91
Resumo.....	91
Abstract	91
5.1 Introdução	92
5.2 Material e Métodos	95
5.2.1 Material vegetal e condução do experimento	95
5.2.2 Metodologia das análises	97
5.2.3 Análise dos dados.....	99
5.3 Resultados e Discussão	99
5.3.1 Firmeza da polpa e atividade da enzima poligalactutonase (PG)	99
5.3.2 Coloração da casca.....	103
5.3.3 Atividade fisiológica.....	107
5.3.3.1 Concentração endógena de etileno (CEE)	107
5.3.3.2 Produção de etileno.....	109
5.3.3.3 Atividade respiratória.....	110
5.4 Conclusões	112
Referências.....	113
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119

RESUMO

Estudo das relações entre etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP) em mamões ‘Golden’

O mamão está entre as frutas mais exportadas e consumidas no Brasil, no entanto, sua comercialização é dificultada devido ao seu curto período de vida útil pós-colheita. O 1-metilciclopropeno (1-MCP) tem sido utilizado para retardar o amadurecimento de frutos climatéricos e como ferramenta para estudos de processos relacionados ao etileno. Entretanto, a aplicação de 1-MCP em mamões parcialmente verdes, estágio utilizado para comercialização, leva às respostas variáveis, o que tem inviabilizado seu uso comercial nesta fruta. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar as relações entre etileno e 1-MCP e investigar os fatores que inviabilizam o uso comercial do 1-MCP em mamões ‘Golden’. Para tal propósito a pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Na primeira, foi feita a avaliação fisiológica, bioquímica e de qualidade em mamões submetidos à aplicação de etileno e 1-MCP. Na segunda, foram identificados os compostos voláteis responsáveis pelo aroma em mamões submetidos às mesmas condições da primeira etapa, assim como as possíveis interferências do etileno e 1-MCP sobre a produção desses compostos. A terceira etapa consistiu em determinar a influência da concentração endógena de etileno (CEE) de mamões ‘Golden’ na sensibilidade ao 1-MCP. Para a primeira e segunda etapa, mamões provenientes do sul da Bahia foram submetidos aos seguintes tratamentos: controle, etileno, 1-MCP, etileno + 1-MCP (simultâneo), etileno + 12h +1-MCP e etileno + 1-MCP (sem intervalo) e, em seguida, armazenados em câmara de refrigeração a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ até o completo amadurecimento para as avaliações. Na primeira etapa foi possível observar que o uso do 1-MCP isoladamente, bem como quando aplicado 12 horas ou imediatamente após a aplicação de etileno prejudicou o amolecimento da polpa de mamões ‘Golden’, no entanto, a coloração final da casca não foi prejudicada pelo uso do inibidor. O 1-MCP, associado ou não ao etileno alterou o mecanismo de retroalimentação normal de produção de etileno e, provavelmente, a enzima ACC sintase foi afetada. A aplicação de etileno + 1-MCP, simultaneamente, aumentou a vida de prateleira de mamões ‘Golden’ sem comprometer a qualidade final do fruto. Na segunda etapa, vinte compostos voláteis em mamões ‘Golden’ foram identificados. O 1-MCP afetou o aroma dos frutos e estes não recuperaram o aroma no mesmo teor dos frutos sem tratamento até o oitavo dia de armazenamento. Os tratamentos com 1-MCP, com ou sem etileno, afetaram mais os compostos responsáveis por nuances de aroma, mas não afetaram prejudicialmente os compostos de impacto do aroma. Na terceira etapa, mamões ‘Golden’ provenientes de Linhares, foram submetidos a tratamentos que visaram reduzir ou aumentar a CEE e relacionar com a sensibilidade do fruto ao 1-MCP. Para isso, um grupo de frutos foi submetido a 2% de O_2 para reduzir a CEE, outro grupo foi exposto à atmosfera de $2,5 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno visando aumentar a CEE. O terceiro grupo de frutos foi submetido à atmosfera ambiente. Ao final dos tratamentos, metade dos frutos de cada grupo foi submetida à aplicação de 1-MCP e a outra metade imersa em água deionizada. Os resultados confirmam que a concentração endógena de etileno modula a sensibilidade de mamões ‘Golden’ ao 1-MCP.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Pós-colheita; Respiração; Aroma

ABSTRACT

Study of the relationship between ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) in 'Golden' papayas

The papaya is one of the most exported and consumed fruit in Brazil, however, due the short shelf life the commercialization have some obstacles. The 1-methylcyclopropene (1-MCP) has been used for delaying the climacteric fruit ripening and as a tool for studies of ethylene processes. Nevertheless, the application of 1-MCP in partially green papayas, which is the commercialization stage, leads to uncertainty results, which has made impossible the commercial use in this fruit. Thus, the aim of this work was to study the relationship between ethylene and 1-MCP to understand the factors that do not allow commercial use of 1-MCP in 'Golden' papayas. For this purpose the research was conducted in three steps. The first was composed by physiological, biochemistry and quality measurements in papayas submitted to ethylene and 1-MCP treatments. In the second, the volatile aromas compounds were identified in papayas subjected to the same conditions of the first step, as well as, the possible interferences of ethylene and 1-MCP on the production of those compounds. The third step was to determine the influence of endogenous ethylene concentration (EEC) in the sensitivity of 'Golden' papaya to 1-MCP. In the first and second steps, papayas from the south of Bahia were submitted to the following treatments: control, ethylene, 1-MCP, ethylene + 1-MCP (simultaneously), ethylene + 12h + 1-MCP and ethylene + 1-MCP (no interval) and then stored in refrigerator at 22 ± 1 ° C until to complete ripening, condition that they were evaluated. In the first step it was observed that the use of 1-MCP alone and applied 12 hours or immediately after ethylene impaired softening of papaya pulp 'Golden', however, the final skin color was not impairment by the use of the inhibitor. The 1-MCP, with or without ethylene, altered normal *feedback* ethylene production and probably the ACC synthase was affected. The application of ethylene + 1-MCP, simultaneously, increased shelf life of papayas 'Golden' without affect the final fruit quality. According to the second step, twenty volatiles in 'Golden' papaya were identified. The 1-MCP affect the aroma of fruits and these did not recover the same aroma content of the fruits untreated until the eighth day of storage. Treatments with 1-MCP, with or without ethylene, affected more compounds responsible for flavor nuances, but not detrimentally affect the aroma impact compounds. In the third and last study part, 'Golden' papayas from Linhares were submitted to treatments aimed at reducing or increasing the EEC and relate to the sensitivity of fruit to 1-MCP. For this, a group of fruits was subjected to 2% O₂ to reduce the EEC, other group was exposed to the atmosphere of 2.5 µL L⁻¹ of ethylene to increase the EEC. The third group was subjected fruits ambient atmosphere. At the end of treatment, half part of each fruit group was subjected to the application of 1-MCP and the other half part immersed in deionized water. The results confirm that the endogenous ethylene concentration modulates the sensitivity of papayas 'Golden' to 1-MCP.

Keywords: *Carica papaya* L.; Postharvest; Respiration; Aroma

1 INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro tem expressiva participação na produção nacional da fruticultura. É a terceira fruta mais consumida no Brasil e apresenta grande relevância econômica e social, principalmente na geração de emprego e renda. De acordo com o FNP consultoria e comércio (2016), os principais estados produtores em 2013 foram: Bahia (719 mil toneladas), Espírito Santo (405 mil toneladas), Minas Gerais (127 mil toneladas) e Ceará (118 mil toneladas). O cultivar Golden, genótipo resultante de seleções do cultivar Sunrise Solo é exportada para os Estados Unidos e Europa, onde é muito apreciada pelo aroma, sabor, cor e textura da polpa (COSTA; PACOVA, 2003). Contudo, em virtude do excessivo amolecimento da polpa, o qual favorece o ataque microbiano e os danos mecânicos, a comercialização é dificultada. Desta forma, técnicas para minimizar esses problemas são necessárias.

O etileno tem importante papel durante o amadurecimento de frutos climatérios, como o mamão, iniciando e coordenando diversos processos, tais como o desenvolvimento da cor da casca e da polpa, amolecimento da polpa e formação de aroma (BALBOTIN et al., 2007). Essas mudanças são desejáveis do ponto de vista de qualidade para o consumo, entretanto, seu efeito pode ser considerado negativo porque reduz o tempo de conservação do fruto.

Inibidores da ação do etileno são interessantes do ponto de vista da conservação dos alimentos, por inibir tanto a ação do etileno endógeno, quanto exógeno (FENG et al., 2000), além de ser uma ferramenta para estudo de processos relacionados ao amadurecimento. O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um inibidor da ação do etileno que compete pelo sítio receptor do hormônio, impedindo que este se ligue e promova resposta celular (SISLER; SEREK, 1997).

Vários trabalhos relatam os benefícios do uso do 1-MCP em mamões, a fim de aumentar a vida útil deste fruto, ao retardar o desenvolvimento da cor amarela da casca, atrasar o amolecimento da polpa e o aparecimento de podridões nesses frutos que permanecerem verdes por mais tempo. No entanto, observa-se que em alguns frutos climatéricos como banana, pera e mamão, a aplicação do 1-MCP, isoladamente, pode prejudicar de maneira permanente o amadurecimento, causando inibição do amolecimento, da mudança de coloração da casca e da polpa do fruto, além de comprometer a emissão dos compostos voláteis destes frutos. Uma solução para algumas espécies tem sido a aplicação simultânea de etileno e 1-MCP com o objetivo de prolongar o período pós-colheita e ao mesmo tempo reduzir as possíveis falhas de amadurecimento, porém existem poucos estudos a respeito

desse tipo de abordagem e os resultados não são conclusivos. Essa abordagem é interessante para frutos como o mamão, visto que sua comercialização ocorre quando os mesmos se encontram parcialmente verdes, e, neste estágio, os frutos apresentaram falhas no amadurecimento se o 1-MCP foi aplicado isoladamente (TREVISAN et al., 2013).

Para garantir o sucesso do uso do 1-MCP é necessário o conhecimento dos fatores que afetam a resposta dos frutos climatérios ao inibidor, tais como: o intervalo entre a colheita e a aplicação do 1-MCP, tamanho da câmara de aplicação do 1-MCP, quantidade de frutos na câmara de aplicação e fatores pré-colheita afetam a sensibilidade dos frutos ao 1-MCP. Alguns estudos também apontam que a concentração endógena de etileno afeta a sensibilidade dos frutos ao 1-MCP e, desse modo, poderia explicar as diferentes respostas de frutos climatéricos ao 1-MCP após o início do amadurecimento. Tratamentos que diminuem a concentração endógena de etileno, como a exposição a um curto período à condição de hipoxia aumentaram a sensibilidade de tomates ao 1-MCP (ZHANG; HUBER; RAO, 2010). Por analogia, é possível supor que tratamentos que aumentem a concentração endógena de etileno reduzam o efeito do 1-MCP.

Neste contexto, pesquisas sobre a dinâmica do etileno e do 1-MCP, além dos fatores que modulam a sensibilidade ao 1-MCP são necessárias para a viabilização dessa tecnologia em mamões 'Golden', de modo que permita a manutenção da qualidade dos frutos por um maior período de tempo. Adicionalmente, esse tipo de estudo traz esclarecimentos fisiológicos a respeito dos processos relacionados ao etileno.

Referências

BALBONTIN, C.; GAETE-EASTMAN, C.; VERGARA, M.; HERRERA, R.; MOYALEON, M.A. Treatment with 1-MCP and the role of ethylene in aroma development of mountain papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Talca, v. 43, p. 67-77, 2007.

COSTA, A.F.S.; PACOVA, B.E.V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. **A cultura do mamão: tecnologia e produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 59-102.

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.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Mamão. In: _____. **AGRIANUAL2016: Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2016. p. 317-324.

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.

ZHANG, Z., HUBER, D.J., RAO, J. Short-term hypoxic hypobarica transiently decreases internal ethylene levels and increases sensitivity of tomato fruit to subsequent 1-methylcyclopropene treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.56, p.131–137, 2010.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1A cultura do mamoeiro

A produção mundial de mamão atingiu 12,5 milhões de toneladas em 2013, destacando-se como principais produtores a Índia, Brasil, Indonésia, Nigéria e México. O Brasil é segundo maior produtor e responde com 12,6% da produção mundial (FAO, 2016). Apesar de a sua produção ocorrer na maioria dos Estados brasileiros, é na Bahia e no Espírito Santo que está concentrada, onde juntos, respondem com 71% da produção brasileira. A cultura apresenta grande importância social, gerando emprego o ano inteiro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2014).

O mamão pertence à família Caricaceae, ao gênero *Carica* e à espécie *Carica papaya* L. É originário do continente americano e encontra-se amplamente cultivado e consumido em vários países, nas regiões tropicais e subtropicais (BENASSI, 2006). O mamoeiro é uma planta herbácea perene, de crescimento rápido, cujo porte pode variar de três a oito metros de altura. Embora possa produzir frutos por mais de vinte anos, em pomares comerciais a vida útil do mamoeiro é de dois a três anos, onde é conduzido em fuste único, ou seja, sem ramificações laterais (SALOMÃO et al., 2007). Quanto ao padrão respiratório, o mamão é classificado como fruto climatérico, ou seja, apresenta ascensão da produção de etileno e da taxa respiratória no final do período de desenvolvimento, que o leva ao completo amadurecimento, mesmo que separado da planta (BALBINO, 2003).

Em condição ambiente, o fruto completa o seu amadurecimento em aproximadamente uma semana. Devido a esse curto período de conservação em temperatura ambiente torna-se necessária sua rápida comercialização (PEREIRA et al., 2006). Diversos fatores pré e pós-colheita reduzem o período de comercialização do mamão, (COSTA; BALBINO, 2002). Dentre os fatores pré-colheita podem ser citados práticas culturais como, espaçamento, irrigação, adubação, fertirrigação, controle fitossanitário, clima e aspectos de colheita. Os fatores de pós-colheita incluem transporte, manuseio e armazenamento (SENHOR et al., 2009). Os efeitos podem se manifestar nos frutos isoladamente ou em conjunto, proporcionando perdas quantitativas e/ou qualitativas nas diferentes fases da comercialização (COSTA; BALBINO, 2002).

2.2 O papel do etileno no amadurecimento dos frutos

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. Embora os processos bioquímicos resultantes do amadurecimento de frutos sejam específicos e variem entre as espécies, algumas mudanças são consideradas comuns, incluindo (1) modificação da cor através da alteração de pigmentos como, clorofila, carotenóides, e/ou acúmulo de flavonóides, como antocianinas, (2) modificação na textura através de alterações na turgescência e na estrutura e/ou no metabolismo da parede celular e (3) modificações no conteúdo de açúcares e de ácidos e no perfil dos compostos voláteis, os quais afetam a qualidade nutricional, o sabor e o aroma (GIOVANNONI, 2004). Esses processos são dependentes da atividade de várias enzimas, sendo que o controle e a coordenação decorrem da ação combinada de hormônios vegetais e da expressão gênica (GRAY et al., 1992; SMITH; BILLET; GILES, 1977; SPEIRS; BRADY, 1991; TUCKER; GRIERSON, 1987).

O etileno é o principal hormônio responsável pelo desencadeamento e a coordenação dos eventos do amadurecimento em frutos climatéricos (MORAIS et al., 2008). Ele é sintetizado através do aminoácido metionina e as duas principais enzimas de síntese são: a enzima ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano sintase (ACC sintase), que sintetiza o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), e a enzima ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase (ACC oxidase), que transforma o ACC em etileno, HCN e CO₂. A ACC sintase produz, além do ACC, o composto 5-metiltioadenosina (MTA), que será utilizado em uma nova síntese de uma nova molécula de metionina, chamado de ciclo de recuperação da metionina (MIYAZAKI; YANG, 1987).

Esse hormônio se difunde livremente pelos tecidos e se liga aos seus receptores localizados na membrana do retículo endoplasmático, desencadeando alterações fisiológicas que culminam com o amadurecimento e senescência do fruto (LELIÉVRE et al., 1997). Tais modificações ocorrem segundo uma cascata de eventos moleculares que iniciam com a ativação de vias de sinalização de etileno e são reguladas por fatores de transcrição que coordenam a expressão de genes relacionados diretamente aos processos bioquímicos do amadurecimento (BARRY; GIOVANNONI, 2007; LIN; ZHONG; GRIERSON, 2009).

O etileno tem recebido atenção especial, pois sua liberação endógena desencadeia alterações quase que imediatas em alguns frutos, tornando-os propícios à infestação por

patógenos e às perdas pós-colheita, e, conseqüentemente, diminui a vida de prateleira dos mesmos e altera seu valor comercial (GIOVANNONI, 2001).

Diversos tratamentos pós-colheita são utilizados a fim de propiciar aumento na vida útil de vários frutos climatéricos, para que os mesmos possam ser comercializados por mais tempo e a longas distâncias. Esses tratamentos interferem na biossíntese e na ação do etileno.

Compostos como aminoetoxivinilglicina (AVG) e ácido aminoxiacético (AOA) impedem a conversão de S-adenosil-metionina (SAM) em ACC, pois suprimem a atividade da enzima ACC sintase. Exposição a baixos teores de O₂ ou altas temperaturas podem inibir a atividade da enzima ACC oxidase, responsável pela transformação de ACC a etileno. Essa enzima requer oxigênio para sua ativação (PONELEIT; DILLEY, 1993; YIP; JIAO; YANG, 1988). Dentre os fatores que interferem na ação do etileno, pode-se citar, alto teor de CO₂ que se liga ao sítio receptor no lugar do etileno, alteração do pH do meio, que faz com que o etileno não consiga se ligar ao sítio, baixo teor de O₂, 1-metilciclopropeno (1-MCP), entre outros (JACOMINO et al., 2008).

2.3 O uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP)

Uma estratégia para o controle da produção de etileno e, portanto, do amadurecimento e da senescência dos frutos, principalmente daqueles considerados climatéricos, consiste na utilização de substâncias chamadas de ciclopropenos, que inibem os efeitos do etileno bloqueando seus receptores de sinalização molecular (BLANKSHIP; DOLE, 2003). O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é o inibidor de etileno mais bem estudado em frutos (SISLER et al., 2003). Ele ocupa os receptores de etileno de tal forma que o hormônio não pode se ligar ao seu receptor e provocar a ação. Sisler e Serek (1997) propuseram um modelo de como o 1-MCP reage com o receptor de etileno e sugeriram que a afinidade do 1-MCP para o receptor é cerca de 10 vezes maior do que a de etileno. O período de ação do 1-MCP é limitado, visto que novos receptores do etileno são sintetizados, permitindo o amadurecimento normal dos frutos. Aplicações sucessivas deste produto podem ser viáveis na manutenção da qualidade de frutos por longos períodos (VILAS BOAS, 2002).

O 1-MCP tem sido extensivamente estudado e utilizado como ferramenta tecnológica em diversos frutos climatéricos tais como banana (GOLDING et al., 1998; JIANG; JOYCE; MACNISH, 1999; HARRIS; SEBERRY; WILLS, 2000), maçã (FAN; BLANKENSHIP; MATTHEIS, 1999; RUPASINGHE et al., 2000; MIR; CURELL; KHAN, 2001) abacate (KLUGE et al., 2002; JEONG; HUBER; SARGENTE, 2002); melão (ALMEIDA et al.,

2001), tomate (MORETTI et al., 2002; WILLS;KU, 2002), mamão (JACOMINO et al., 2002) e goiaba vermelha (KLUGE; JACOMINO; CASTRO, 2000) com o objetivo de retardar a perda de firmeza e coloração dos frutos, bem como na redução da taxa respiratória e da produção de etileno e, como consequência, aumento da vida pós colheita destes frutos, porém o uso da tecnologia do 1-MCP em mamões encontra-se ainda em desenvolvimento. Vários fatores dificultam a viabilização desse regulador em mamões, como o intervalo entre a colheita e a aplicação, a quantidade de frutos na câmara de tratamento, o estágio de maturação do fruto e fatores pré-colheita. Estes fatores ainda precisam ser mais bem explorados para que as variações de respostas ao regulador sejam minimizadas.

Apesar de todos os efeitos positivos na conservação de frutas e hortaliças, a aplicação do 1-MCP pode comprometer o amadurecimento normal de frutas, tais como peras e bananas, as quais permaneceram verdes, ou ainda, pode haver mudança de coloração da casca e perda de firmeza, como em mamões. Além disso, o uso do 1-MCP causou prejuízos à emissão de compostos voláteis responsáveis pelo aroma em alguns frutos climatéricos (BALBORTIN et al., 2007).

Alterações no aroma da fruta e efeitos deletérios sobre a presença de compostos de importância nutricional também podem ser efeitos indesejáveis causados pela aplicação de 1-MCP (SISLER, 2006). O mecanismo de ação pelo qual inibidores de etileno influenciam na biossíntese de compostos voláteis ainda é desconhecido, porém se acredita que algumas enzimas responsáveis pela formação de compostos odoríferos sejam inibidas (CANUTO, SOUZA NETO; GARRUTI, 2010).

Para Mattheis et al. (2002) os inibidores de etileno 1-MCP e o AVG não afetaram a composição volátil da manga, uma vez que não foi observada diferença significativa nas áreas relativas dos picos dos componentes presentes em frutos tratados e não tratados, em qualquer um dos estágios de maturação avaliados.

A aplicação simultânea de etileno e 1-MCP solucionou problemas de falhas na mudança de coloração da casca, conforme demonstrado por Zhu et al. (2015) em bananas e por Chiriboga et al. (2011) em peras, além do problema de inibição do amolecimento da polpa de mamões quando tratados apenas com o 1-MCP. (TREVISAN et al., 2013).

Em mamões, a aplicação simultânea de etileno e 1-MCP é interessante, pois há demanda de comercialização dos frutos no período em que ainda estão parcialmente verdes e; a aplicação de 1-MCP isoladamente neste período pode comprometer o amadurecimento e a qualidade dos frutos. Desta forma, o etileno em associação com o 1-MCP poderia contornar esse tipo de problema.

2.4 Relações entre a concentração endógena de etileno (CEE) e o 1-MCP

A produção endógena de etileno é parte essencial do amadurecimento de frutos climatérios e, provavelmente, atua como mecanismo central para os processos que dependem do etileno (THEOLOGIS, 1992). O amadurecimento dos frutos pode ser comprometido ou até suprimido em resposta a aplicação do 1-MCP antes do início do amadurecimento (HUBER, 2008), quando a concentração endógena de etileno (CEE) é baixa (RHOADES, 1980).

Frutos como o tomate, que possuem a CEE baixa (máximo $\sim 10 \mu\text{LL}^{-1}$) (SALTVEIT JUNIOR, 1993; KAPOTIS et al., 2004; ZHANG et al., 2009, ZHANG; HUBER; RAO, 2010) possuem alta capacidade de resposta ao 1-MCP, mesmo quando este foi aplicado após o início do amadurecimento. Resposta contrária foi encontrada em frutos como o abacate, que possui alta CEE ($\sim 70\text{-}500 \mu\text{LL}^{-1}$) (BURG; BURG, 1962; EEDEN, 1990; METZIDAKIS; SFAKIOTAKIS, 1995). Isso poderia explicar as diferentes respostas de frutos climatéricos ao inibidor da ação do etileno.

A capacidade do 1-MCP para suprimir o amadurecimento é mantida após o início do amadurecimento em pera (HIWASA et al., 2003) e mamão (ERGUN; HUBER, 2004; MANENOI et al, 2007), assim como em tomates.

Em trabalhos com tratamentos que alteraram a concentração endógena de etileno, El-Mir et al. (2001) observaram atraso no amolecimento, diminuição na respiração e mudanças em outros fatores ligados ao amadurecimento de abacate 'Hass' submetidos a hipoxia. Watkins e Nock (2005) constataram que a sensibilidade ao 1-MCP depende das taxas de produção de etileno, as quais diferem significativamente entre as diferentes cultivares de maçãs. Por outro lado, em frutos submetidos a tratamentos que aumentaram a CEE, as mudanças relacionadas ao amadurecimento foram antecipadas (ZAHNG et al., 2009).

Estas observações indicam que a sensibilidade ao 1-MCP pode ser influenciada pelas concentrações endógenas de etileno dos frutos e que o uso de tratamentos que aumentam ou diminuem essas concentrações, respectivamente, resultam em redução ou aumento transitório da sensibilidade ao 1-MCP.

Referências

ADKINS, M.F.; HOFMAN, P.J.; STUBBINGS, B.A.; MACNISH, A.J. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Ballarat, v.35, p.33–42, 2005.

- ALMEIDA, A.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MENEZES, J.B.; PEREIRA, M.E.C.; ABREU, C.R.A. de. Conservação de melão cantaloupe ‘acclaim’ submetido à aplicação pós-colheita de 1-MCP. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 223-227, 2001.
- BALBINO, J.M.S. Colheita, pós-colheita e fisiologia do amadurecimento do mamão. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. da. **A cultura do mamoeiro**: tecnologia de produção. Vitória: INCAPER, 2003. cap.13, p.405-439.
- BARRY, C.S.; GIOVANNONI, J.J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 26, p. 143-159, 2007.
- BENASSI, A.C. A economia do mamão. **Toda Fruta**, Linhares, v.23, n.3, p.31-40, 2006. Disponível em:
<http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteúdo.asp?conteúdo=14291htm. Acesso em: 15 fev. 2014.
- BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 1-25, 2003.
- BURG, S.P.; BURG, E.A. Role of ethylene in fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v.37, p. 179–189, 1962.
- CANUTO, K.M.; SOUZA NETO, M.A.; GARRUTI, D.S. dos. Avaliação do uso de inibidores de etileno sobre a produção de compostos voláteis e de mangiferina em manga. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1535-1540, 2010.
- CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; DUPILLE, E.; RECASENS, I. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated ‘Conference’ pears. **Journal of Science and Food Agriculture**, Leida, v. 10, n. 15, p. 1781-1788, 2011.
- COSTA, A.F.S.; BALBINO, J.M.S. Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In: FOLEGATTI, M.I.S.; MATSUURA, F.C.A.U. **Mamão**: pós-colheita. Brasília: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 12-18. (Frutas do Brasil, 21).
- EEDEN, S.J.V.; CUTTING, J.G.M.; VRIES, P.J. de. Ethylene production and 1-aminocyclopropane acid levels in ripening avocado fruits. **Acta Horticulturae**, Lille, n.275, p. 595–601, 1990.
- EL-MIR, M.; GERASOPOULOS, D.; METZIDAKIS, I.; KANELIS, A.K. Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, p. 215–226, 2001.
- ERGUN, M.; HUBER, D.J. Suppression of ethylene perception extends shelf-life and quality of ‘Sunrise Solo’ papaya fruit at both pre-ripe and ripe stages of development. **European Journal Horticultural Science**, Madrid, v.69, p.184–192, 2004.

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

FAO FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/e>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

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

_____. Genetic regulation of fruit development and ripening. **The Plant Cell**, Boston, v.16, p.170-180, 2004.

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**, Hawkesbury, v. 14, p. 87-98, 1998.

GRAY, J.; PICTON, S.; SHABBEER, J.; SCHUCH, W.; GRIERSON, D. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. **Plant Molecular Biology**, Davis, v. 19, p. 69-87, 1992.

HARRIS, D.R.; SEBERRY, J.A.; WILLS, R.B.H.; SPOHR, L. J. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, p. 303-308, 2000.

HIWASA, K.; KINUGASA, Y.; AMANO, S.; HASHIMOTO, A.; NAKANO, R.; INABA, A., KUBO, Y. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.54, p.771-779, 2003.

HUBER, D.J. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. **Hortscience**, Alexandria, v.43, p. 106-111, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação Agropecuária. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LSPA**. Rio de Janeiro, 2014. 122 p.

JACOMINO, A.P.; ARRUDA, M.C. de; BRON, I.U.; KLUGE, R.A. Transformações bioquímicas em produtos hortícolas após a colheita. In: KOBLITZ, M.G.B. **Bioquímica de alimentos: teorias e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 153-189.

JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R.C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

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.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A.J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.16, p.187-193, 1999.

KAPOTIS, G.; PASSAM, H.C.; AKOUMIANAKIS, K.; OLYMPIOS, C.M. Storage of tomatoes in low oxygen atmospheres inhibits ethylene action and polygalacturonase activity. **Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 51, p. 112-115, 2004.

KLUGE, R.A.; JACOMINO, A.P.; CASTRO, P.R.C. Controle do amadurecimento e senescência de goiaba vermelha tratada com ethylbloc (1-MCP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. **Resumos...**Fortaleza: EMBRAPA, 2000. p.292.

KLUGE, R.A.; JACOMINO, A.P.; ODEJA, R.M.; BRACKMANN, A. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 895-901, 2002.

LELIEVRE, J.M.; LATCHE, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. Ethylene and fruit ripening. **Physiology Plantarum**, Toulouse Cedex, v. 101, p. 727-739, 1997.

LIN, Z., ZHONG, S., GRIERSON, D. Recent advances in ethylene research. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 3311–3336, 2009.

MANEONI, A.; BAYOGAN, E.R.; THUMDEE, S.; PAULL, R.E. Utility of 1-methylcyclopropene as a postharvest treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Honolulu, v. 44, p. 55-62, 2007.

MATTHEIS, J.; FAN, X.; ARGENTA, L. Factors influencing successful use of 1-MCP. In: TREE FRUIT POSTHARVEST CONFERENCE, n° 18, 2002, Washington. **Proceedings...** Yakima, 2002. p. 1-3.

METZIDAKIS, I.T.; SFAKIOTAKIS, E.M. Physiological disorders induced by low oxygen on avocado fruits. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 379, p.397–403, 1995.

MIR, N.A.; CURELL, E.; KHAN, N.; WHITAKER, M.; BEAUDRY, R. M. Harvest maturity, storage temperature and 1- MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.126, p.618-624, 2001,

MIYAZAKI, J.H.; YANG, S.F. The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 69, p. 366-370, 1987.

MORAIS, P.L.D.; MIRANDA, M.R.A.; LIMA, L.C.O.; ALVES, J.D.; ALVES, R.E.; SILVA, J.D. Cell wall biochemistry of sapodilla (*Manilkara zapota*) submitted to 1-methylcyclopropene. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Jundiaí, v.20, n. 2, p. 85-94, 2008.

MORETTI, C.L.; ARAÚJO, A.L.A.; MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. 1 Methylcyclopropene delays tomato fruit ripening. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 659-663, 2002.

PEREIRA, M.E.C.; SILVA, A.S.; BISPO, A.S.R.; SANTOS, D.B.; SANTOS, S.B.; SANTOS, V.J. Amadurecimento de mamão Formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.6, p. 1116-1119, 2006.

PONELEIT, L.S.; DILLEY, D.R. Carbon dioxide activation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase in ethylene biosynthesis. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 3, p. 191-199, 1993.

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

RUPASINGHE, H.P.V.; MURR, D.P.; PALIYATH, G.; SKOG, L. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Dordrecht, v.75, p.271-276, 2000.

SALOMÃO, L.C.C.; SIQUEIRA, D.L.; SANTOS, D.; BORBA, A.N. **Cultivo do mamoeiro**. Viçosa: Ed UFV, 2007.73 p.

SALTVEIT JUNIOR, M.E. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. **Plant Physiology**, Rockville, v. 89, p. 204-210, 1993.

SENHOR, R.F.; SOUZA, P.A.; CARVALHO, J.N.; SILVA, F.L.; SILVA, M.C. Fatores de pré e pós-colheita que afetam os frutos e hortaliças em pós-colheita. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.4,n.3, p.13-21, 2009.

SISLER, E.C. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level. **Biotechnology Advances**, Raleigh, v. 24, p. 357-367, 2006.

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.; ALWAN, T.; GOREN, R.; SEREK, M.; APELBAUM, A. 1-substituted cyclopropenes: effective blocking agents for ethylene action on plants. **Plant Growth Regulation**, Amsterdam, v. 40, p. 223-228, 2003.

SMITH, H.; BILLET, E.; GILES, A.B. The photocontrol of gene expression in higher plants In: SMITH, H. (Ed.). **Regulation of enzyme synthesis and activity in higher plants**. San Diego: Academic Press, 1997. p. 93-125.

SPEIRS, J.; BRADY, C.J. Modification of gene expression in ripening fruit. **Australian Journal of Plant Physiology**, Darwin, v. 18, n. 5, p.519-532, 1991.

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

TREVISAN, M.J.; JACOMINO, A.P.; CUNHA JUNIOR, L.C.; ALVES, R.F. Aplicação de 1-metilciclopropeno associado ao etileno para minimizar seus efeitos na inibição do amadurecimento do mamão 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p.384-390, jun. 2013.

TUCKER, G.A.; GRIERSON D. Fruit ripening. In: Graham Seymour, J. Taylor, Gregory Tucker. **The Biochemistry of fruit ripening**. Berlim. 1987. p.265-318. (The Biochemistry of Plants, 12).

VILAS BOAS, E.V.B. 1-MCP: um inibidor da ação do etileno. In: SIMPOSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS: PATOLOGIA POS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALICAS, 3., 2002, Lavras. **Palestras...** Lavras: UFL, 2002. p. 24-30.

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.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F. Effects of delays between harvest and 1- methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. **HortScience**, Alexandria, v. 40, p. 2096–2101, 2005.

WILLS, R.B.H.; KU, V.V.V. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 26, p.85-90, 2002.

YIP, W.K.; JIAO, X. Z.; YANG, S.F. Dependence of in vivo ethylene production rate on 1- aminocyclopropene-1- carboxylic acid content and oxygen concentrations. **Plant Physiology**, Rockville, v.88, p. 553-558, 1988.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; RAO, J. Short-term hypoxic hypobarica transiently decreases internal ethylene levels and increases sensitivity of tomato fruit to subsequent 1-methylcyclopropene treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 56, p. 131–137, 2010.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; HURR, B.M.; RAO, J. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 54, p. 1-8, 2009.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 107, p. 23–32, 2015.

3 FISIOLOGIA, BIOQUÍMICA E QUALIDADE DE MAMÃO 'GOLDEN' EM RESPOSTA À APLICAÇÃO ASSOCIADA DE ETILENO E 1-METILCICLOPROPENO(1-MCP)

Resumo

O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um inibidor da ação do etileno e tem sido utilizado como forma de ampliar o tempo de conservação de frutas e hortaliças. Apesar dos benefícios do 1-MCP, às vezes, ocorre o comprometimento do amadurecimento em frutos tratados com o inibidor, principalmente se estes estiverem em estágio de amadurecimento precoce. Uma solução para este problema seria a aplicação associada de etileno e 1-MCP para contornar essas falhas de amadurecimento. No entanto, ainda existem poucos estudos a respeito deste tipo de aplicação e as respostas não são conclusivas. Essa abordagem é importante para mamões 'Golden', visto que há demanda desses frutos em estágio de maturação precoce e alcancem mercados distantes com qualidade. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos do etileno associado ao 1-MCP sobre a fisiologia, bioquímica e conservação pós-colheita de mamões 'Golden'. Os frutos foram colhidos em plantios comerciais do sul da Bahia no estágio 1 de maturação e tratados ainda nesse estágio. Os tratamentos foram controle, etileno, 1-MCP, etileno + 1-MCP (simultâneo), etileno + 12h + 1-MCP e etileno + 1-MCP (sem intervalo). Após os tratamentos, os frutos foram armazenados em câmara de refrigeração a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ até o completo amadurecimento e foram avaliados a cada dois dias quanto à firmeza da polpa, atividade da enzima pectinametilesterase (PME), coloração da casca, pigmentos da casca e da polpa, atividade da ACC oxidase, conteúdo de ACC e teores de sólidos solúveis (SS). A produção de etileno, atividade respiratória e concentração endógena de etileno (CEE) foram avaliadas diariamente. O delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (6 tratamentos x 8 dias de armazenamento) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os frutos tratados com 1-MCP isoladamente, 12 horas e imediatamente após aplicação de etileno tiveram o amadurecimento comprometido, pois estes não amoleceram completamente. A mudança da coloração da casca e da polpa foi apenas desacelerada com estes tratamentos, não havendo prejuízo na coloração final. O uso do 1-MCP isoladamente, associado ou não ao etileno, alterou a retroalimentação normal de produção de etileno. A aplicação de etileno + 1-MCP, simultaneamente, aumentou a vida de prateleira de mamões 'Golden' sem comprometer a qualidade final.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Hormônio vegetal; Pós-colheita; Armazenamento

Abstract

The 1-methylcyclopropene (1-MCP) is an ethylene action inhibitor and has been used to extend the fruits and vegetables shelf life. Despite the benefits of 1-MCP, sometimes occurs deficiency ripening in fruits treated with the inhibitor, especially if they are in early ripening stage. One solution would be the associated application of ethylene and 1-MCP to avoid these ripening failures. However, there are still few studies about this type of application and the results are not conclusive. This approach is important for papayas 'Golden', due the marketing preference for these fruits in early maturation stage to support great distances until reach the final consumer with quality. In this context, the aim of this study was to determine the ethylene associated with 1-MCP effects on the physiology, biochemistry and postharvest conservation of 'Golden' papayas. The fruits were harvested in the commercial plantations of

south Bahia in maturation stage 1 and were treated at this stage. The treatments were control, ethylene, 1-MCP, ethylene + 1-MCP (simultaneously), ethylene + 12h + 1-MCP and ethylene + 1-MCP (no interval). After treatments, fruits were stored in refrigerator at 22 ± 1 ° C to ripening and were evaluated for firmness, pectin methylesterase enzyme activity (PME), skin color, skin and pulp pigments, ACC oxidase activity, ACC content and soluble solids (SS) every other day. Ethylene production, respiration rate and endogenous ethylene concentration were evaluated daily. The statistical design was completely randomized in a factorial arrangement (6 treatment x 8 days of storage) and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The fruit treated with 1-MCP alone, 12 hours and immediately after application ethylene had impairment ripening, because they do not completely softened. The change in the skin and pulp color was only decelerated with these treatments, without prejudice to the final color. The use of 1-MCP alone, with or without ethylene altered the feedback ethylene production normal. The application of ethylene + 1-MCP simultaneously increased shelf life papayas 'Golden' without affect the final quality.

Keywords: *Carica papaya* L.; Plant hormone; Postharvest; Storage

3.1 Introdução

A cultura do mamoeiro tem expressiva importância para o agronegócio brasileiro e encontra-se entre as 10 frutas mais exportadas pelo país (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF, 2014). A cultivar 'Golden' é bastante exportada e apreciada por mercados dos EUA e da Europa (FNP, 2016), contudo, a comercialização a longas distâncias é dificultada devido à alta vulnerabilidade dos frutos às perdas pós-colheita durante o manuseio e armazenamento (GONZÁLEZ-AGUILAR et al., 2009). Desta forma, o aprimoramento de técnicas de pós-colheita pode resultar em diminuição das perdas e facilitar o armazenamento e transporte destes frutos, trazendo importantes benefícios nutricionais e econômicos.

Uma técnica empregada para o controle do amadurecimento consiste na utilização de substâncias chamadas de ciclopropenos, que inibem os efeitos do etileno, através do bloqueio de seus receptores de sinalização molecular (BLANKSHIP; DOLE, 2003). O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é bastante utilizado devido sua baixa fitotoxidade e alta eficiência mesmo em baixas concentrações (SISLER, 2006). Esse regulador vegetal atrasa a maturação e a senescência de muitos produtos hortícolas (BLANKSHIP; DOLE, 2003; WATKINS; NOCK, 2005; HUBER, 2008). Em mamões, o etileno tem importante papel durante o amadurecimento iniciando e coordenando diversos processos, tais como desenvolvimento de cor amarela, amolecimento da polpa e formação de aroma (BALBOTÍN et al., 2007).

Em mamões parcialmente maduros, já existem resultados conclusivos e promissores em relação ao aumento de vida de prateleira com o uso de 1-MCP. Hofman et al. (2001), Ergun e Huber (2004) e Jacomino et al. (2007) observaram retenção da firmeza em mamões tratados com 1-MCP. Asmar et al. (2010) constataram atraso na degradação da pectina total e

menor atividade da enzima pectinametilesterase (PME) em mamões tratados com 1-MCP, indicando que estes frutos amoleceram mais lentamente. Outros trabalhos também indicam atraso na mudança da coloração da casca de mamões como os descritos por Jacomino et al. (2002), Souza et al. (2009) e Trevisan et al. (2013).

No entanto, apesar dos benefícios do uso deste regulador vegetal em mamões parcialmente maduros, às vezes esses frutos podem ter o amadurecimento comprometido, principalmente se o 1-MCP for aplicado em frutos que estão em estágio de amadurecimento precoce (MANENOI et al., 2007) ou se o regulador for aplicado em altas doses (JACOMINO et al., 2007). Uma possível solução para este tipo de problema é a aplicação conjunta dos reguladores etileno e 1-MCP, para que o mamão prolongue sua vida pós-colheita e não apresente falhas de amadurecimento. Resultados promissores a respeito desse tipo de aplicação foram constatados por Zhu et al. (2015), Trevisan et al. (2013) e Chiriboga et al. (2011).

Trevisan et al. (2013) observaram que mamões tratados apenas com 1-MCP estavam impróprios para o consumo após 12 dias de armazenamento, devido a rigidez da polpa. Os frutos tratados com etileno e 1-MCP simultaneamente contornaram esse problema, atingiram firmeza própria para consumo e não amoleceram tão rapidamente como os frutos controle. Zhang et al. (2009) também constataram diminuição da ação do 1-MCP quando este foi aplicado em conjunto com o etileno, assim como Vilalobos-Acuna et al. (2011). Em bananas, o potencial de aplicação 1-MCP foi limitado por causa do desenvolvimento desigual da coloração da casca, que se tornou mais grave quando frutos de diferentes estágios de amadurecimento estavam presentes juntos em um mesmo lote comercial (HARRIS et al., 2000). Para Watkins (2006) uma solução para o problema de coloração das bananas foi o tratamento artificial com etefon para amadurecimento da fruta e posterior aplicação de 1-MCP.

Devido à escassez de estudos referentes à aplicação associada de etileno e 1-MCP e as respostas ainda serem confusas, o objetivo desta pesquisa foi investigar os aspectos fisiológicos, bioquímicos e de qualidade de mamão 'Golden' em resposta à aplicação associada de etileno e 1-MCP.

Essa abordagem é particularmente interessante para mamões 'Golden', pois o maior desafio para o uso do 1-MCP é a aplicação no período em que o fruto encontra-se parcialmente verde, sem que haja comprometimento do amadurecimento. Isso se faz necessário, pois há demanda do fruto nesse estágio pelo fato do mesmo ser mais resistente a danos mecânicos o que facilita o manuseio e o transporte a longas distâncias.

3.2 Material e Métodos

Os frutos utilizados foram provenientes de cultivos comerciais do sul da Bahia, no período de setembro de 2012 a dezembro de 2014. Os mamões foram colhidos no estágio 1 de maturação, que corresponde a 15% de coloração amarela da epiderme e firmeza de polpa superior a 100 Newtons. Após a colheita, os frutos foram embalados e enviados à Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP-SP) em caminhão refrigerado ($\pm 13^{\circ}\text{C}$). Em seguida, foram transportados para Piracicaba em veículo com ar condicionado ($\pm 18^{\circ}\text{C}$) até o Laboratório de Pós-colheita e Produtos Hortícolas da ESALQ/USP, onde foram mantidos a $13^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 10\%$ UR.

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias e estágio de maturação. Em seguida, foram realizadas análises físicas, físico-químicas e fisiológicas em 20 frutos para a caracterização do lote experimental. Após essa caracterização, amostras desses frutos foram congeladas em nitrogênio líquido e mantidas em freezer a -80°C para análises posteriores.

Posteriormente, aproximadamente 100 frutos foram submetidos a tratamentos com etileno e/ou 1-MCP aplicados simultaneamente ou em momentos distintos ainda no mesmo dia, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1-Tratamentos com etileno e 1-MCP em mamões ‘Golden’

	Concentração de etileno e tempo de exposição	Intervalo entre as aplicações	Concentração de 1-MCP e tempo de exposição	Sequência de aplicação
T1	---	---	---	---
T2	$2,5 \mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	---	---	---
T3	---	---	100 nL.L^{-1} 12 h	---
T4	$2,5 \mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	---	100 nL.L^{-1} 12 h	Simultâneo
T5	$2,5 \mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	12h	100 nL.L^{-1} 12 h	Etileno + 1-MCP
T6	$2,5 \mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	--	100 nL.L^{-1} 12 h	Etileno + 1-MCP

A fonte de etileno foi o gás Azetil®, que contém 5% de etileno. Para aplicação de 1-MCP foi utilizado SmartFresh® (0,38% i.a.), no qual 30 mg do produto que representaram 100 nLL^{-1} em 1 m^3 , foi colocado em frasco com tampa, onde foram adicionados 3 mL de água deionizada, seguida de agitação do frasco para completa dissociação do produto e, em

seguida, o frasco foi aberto no interior da câmara para a liberação do produto. As aplicações de etileno e 1-MCP foram realizadas à temperatura de 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) em câmaras herméticas com capacidade de 186 L.

Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a $22\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90%UR até completo amadurecimento e analisados quanto à firmeza da polpa, atividade da enzima pectinametilesterase (PME), coloração da casca, concentrações de clorofila e carotenóides, atividade da ACC oxidase e teores de sólidos solúveis a cada dois dias, por 8 dias. A produção de etileno, atividade respiratória e a concentração endógena de etileno (CEE) foram avaliadas diariamente, por 6 dias.

3.2.1 Metodologia das análises

Firmeza da polpa: foi avaliada com auxílio penetrômetro digital (53200-Samar, Tr Turoni, Forli, Italia) utilizando uma ponteira de 8mm de diâmetro. Foram realizadas 3 leituras por fruto em lados opostos da região da região equatorial, após a retirada de uma película da casca. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Coloração da casca: foi determinada com colorímetro Minolta, modelo CR-300, tomando-se duas leituras por fruto, em lados opostos da região equatorial. Os resultados foram expressos em ângulo de cor (h°).

Nota de cor da casca: foi dada por duas pessoas, através de notas aplicadas a cada fruto, de acordo com a escala abaixo (Figura 1), onde 0= 0% da coloração da casca amarela, 1= se 1 a 15% da coloração da casca amarela, 2= de 16 a 25% da coloração da casca amarela, 3= de 26 a 50% da coloração da casca amarela, 4= de 51 a 75% da coloração da casca amarela e 5= de 76 a 100% da coloração da casca amarela.

Figura 1 - Escala de notas atribuídas para a coloração da casca de mamão 'Golden'

Teores de clorofila da casca e de carotenóides da casca e da polpa: foram determinados pelo método de Lichtenthaler (1987), no qual 2g do material foram macerados durante 2 minutos utilizando areia em almofariz com a adição de 18 mL de acetona (80%).

Em seguida o extrato foi centrifugado a 3000 rpm durante 5 minutos. Foram feitas leituras do sobrenadante em espectrofotômetro de ultravioleta visível (modelo Cary 50) no comprimento de onda de 663,2nm e 646,8nm para clorofila e 470 nm para carotenóides. Os resultados foram calculados seguindo as equações abaixo e expressos em mg g^{-1} .

Clorofila a: $12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646}$

Clorofila b: $21,50 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663}$

Clorofila total: $(7,15 \times A_{663}) + (18,71 \times A_{646})$

Carotenóides: $[1000 \times A_{470} - (1,82 \times Ca + 85,02 \times Cb)]/198$

Sólidos solúveis (SS): uma porção do mesocarpo do fruto da região equatorial do mesmo foi triturada em Mixer Philips Walita (RI1341). Em seguida, uma gota do suco resultante da filtração da polpa triturada foi lida em refratômetro digital (Atago- Palete 101). Foram realizadas três leituras por repetição e os resultados foram expressos em °Brix.

Produção de etileno e a atividade respiratória: 10 frutos foram colocados individualmente em frascos herméticos de vidros com capacidade de 1700 mL durante 1 hora. Em seguida, amostras de 1 mL da atmosfera do espaço livre do vial foram retiradas dos frascos com uma seringa (modelo Hamilton, marca Gastight, EUA) através de um septo de silicone localizado na tampa do frasco e, injetadas em cromatógrafo à gás Thermo Finnigan, modelo Trace 2000 GC, equipado com dois detectores de ionização de chama (FID) regulados para 250 °C, dois injetores regulados para 120°C, duas colunas Porapack N (coluna CO_2 – 4 m; coluna C_2H_4 – 1,8 m) reguladas para 120°C e um metanador regulado para 350 °C. A respiração e a produção de etileno foram determinadas pela diferença entre a concentração gasosa inicial e final no interior do recipiente, sendo expressas, respectivamente, em $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Concentração endógena de etileno (CEE): para retirar amostras da atmosfera endógena do fruto, uma agulha de calibre de 1,2 mm e 40 mm de comprimento foi inserida na região do pedúnculo do fruto até atingir a cavidade e fixada com massa de calafetar para evitar vazamentos (Figura 2A). A agulha permaneceu fixada no fruto até o final do experimento. A extremidade da agulha que ficou externa ao fruto foi vedada com silicone, formando um septo. Para a coleta das amostras utilizou-se uma seringa de 1 mL, com agulha de diâmetro menor a da fixada no fruto de forma a permitir a coleta de amostras da atmosfera interna do fruto através do septo de silicone (Figura 2B). Foram coletadas amostras de 1 mL de gás do interior dos frutos as quais foram injetadas em cromatógrafo à gás Thermo Finnigan,

modelo Trace 2000 GC, equipado com dois detectores de ionização de chama (FID) regulados para 250 °C, dois injetores regulados para 120 °C, duas colunas Porapack N (coluna CO₂ – 4 m; coluna C₂H₄ – 1,8 m) reguladas para 120 °C e um metanador regulado para 350 °C. Foram utilizados 10 frutos para esta avaliação e os resultados foram expressos em ppm.

Figura 2- (A) Detalhe da agulha na cavidade do fruto. (B) Retirada da amostra de gás da cavidade interna do fruto

Atividade da enzima pectinametilesterase (PME): foi determinada por titulometria, através da liberação dos ácidos carboxílicos resultantes da ação da enzima, segundo a metodologia descrita por Kertesz (1955). Para isso, homogeneizou-se 5 g da polpa de mamão em 20 mL de solução de 0,2 N de cloreto de sódio (NaCl) a 4°C. Posteriormente, 5 mL deste extrato foi adicionado a 30 mL de pectina cítrica (1%), pH 7, diluída em 0,2 N de NaCl e a mistura teve o pH rapidamente corrigido para 7. A titulação do substrato foi realizada utilizando-se 0,01 N de hidróxido de sódio (NaOH) durante 10 minutos, de modo que seu pH fosse sempre mantido próximo a 7. A atividade foi expressa em nmol g⁻¹min⁻¹.

Atividade da enzima ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase (ACC oxidase): foi determinada conforme metodologia descrita por Karakurt e Huber (2003), com modificações. Dessa forma, 1 g da polpa de mamão foi macerada em nitrogênio líquido e homogeneizada em 6 mL da solução de extração contendo 0,1 M de Tris (pH 7,4), 10% de glicerol e 30 mM de ascorbato de sódio. Esta solução foi centrifugada a 10.000 rpm durante 30 minutos a 4°C. Em seguida, 1 mL do sobrenadante foi adicionado a 2 mL da solução de reação contendo 0,4 mL do extrato enzimático, 30 mM de ascorbato de sódio, 0,1 mM de FeSO₄ e 1 mM de ACC e acondicionados em frascos herméticos de 10 mL. A solução foi incubada a 30 °C por 30 minutos e uma amostra de 1 mL do espaço livre do vial foi retirada com auxílio de uma seringa (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras foram injetadas e analisadas em cromatógrafo à gás Thermo Finnigan, modelo Trace 2000GC. A atividade da ACC oxidase foi expressa em ppm de C₂H₄.

Determinação do ácido 1- aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC)

A determinação do conteúdo de ACC livre foi feita de acordo método descrito por Liu, Zhu e Zhou (2012). Aproximadamente 0,5 g da polpa congelada dos frutos foram trituradas em gral de porcelana na presença de nitrogênio líquido. O pó resultante foi transferido para um tubo de centrífuga contendo 5 ml de metanol (60%). O material foi mantido sob agitação por 1 hora em temperatura ambiente e, em seguida, centrifugado a 14000 x g por 10 minutos a 25 °C. O sobrenadante foi transferido para outro tubo e o conteúdo foi seco completamente em corrente de nitrogênio. O resíduo foi reconstituído em 200 µL de água ultrapura e transferido para tubo de microcentrífuga de 1,5 mL, ao qual foi adicionado 300 µL de 20 mM de tampão borato, pH 8,0, mais 360 µL de 1 mM de fluorescamina dissolvida em acetona. A mistura foi agitada em vórtex e mantida a 25°C por 10 minutos, sendo em seguida filtrada através de membrana de 0,45 µm de poro para um vial de 2 mL. Uma alíquota de 20 µL da mistura filtrada foi injetada em cromatógrafo líquido acoplado a um detector de fluorescência (Agilent 1100). A amostra foi eluída através de uma coluna Luna C18 (5 µm, 300 x 4 mm, Supelco, Sigma-Aldrich, USA) e o efluente monitorado em comprimento de onda de excitação de 378 nm e de emissão de 475 nm. Os resultados foram calculados por padronização externa utilizando curva-padrão de ACC (Sigma-Aldrich, USA) no intervalo de 0,1 a 10 µg.

3.2.2 Análise dos dados

Para as análises físico-químicas, o delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (6 tratamentos x 8 dias de avaliação), com 10 frutos por tratamento. Para as análises fisiológicas, o delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (6 tratamentos x 6 dias de avaliação), com a utilização de 10 frutos por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico SAS (University Edition).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Firmeza da polpa e atividade da enzima pectinametilesterase (PME)

Houve decréscimo da firmeza dos mamões ao longo do armazenamento (Figura 3), como consequência do avanço do processo natural de amolecimento e senescência dos frutos em todos os tratamentos ($p < 0,05$).

Figura 3 - Firmeza da polpa de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Em frutos tratados somente com 1-MCP os valores de firmeza diferiram dos demais tratamentos em todos os dias de análise ($p<0,05$) e permaneceram firmes até o fim do amadurecimento (78N). Estes frutos apresentaram firmeza de polpa com aspecto emborrachado no fim do armazenamento, tornando-se impróprios ao consumo. Por outro lado, os frutos controle e aqueles tratados somente com etileno apresentaram decréscimo da firmeza semelhante e amoleceram rapidamente, atingindo valores de 3,4 N de firmeza no último dia de armazenamento.

Por fim, os frutos tratados com os dois reguladores (etileno + 1-MCP) apresentaram firmeza intermediária entre aqueles tratados apenas com etileno ou apenas com 1-MCP. Esses tratamentos diferiram entre si em quase todos os dias de análise ($p<0,05$). No oitavo dia, frutos tratados simultaneamente com os dois reguladores apresentavam características adequadas para o consumo *in natura*, com firmeza da polpa de 24,2 N e aqueles tratados com 1-MCP imediatamente e 12 horas após a aplicação de etileno apresentavam valores de firmeza de 41,5 e 45,8N, respectivamente, portanto, também não estavam em condições ótimas para consumo. Desta forma, observou-se que mesmo com a pré-exposição de mamões ao etileno antes da aplicação de 1-MCP, os frutos não amadureceram normalmente. Como os frutos foram tratados em estágio precoce de amadurecimento, é possível que esse período de 12

horas, a exposição ao etileno não foi suficiente para estimular a produção de mais etileno e diminuir os efeitos causados pela inibição do 1-MCP.

Várias pesquisas relataram o efeito do 1-MCP na retenção da firmeza em mamões, como estudos conduzidos por Hofman et al. (2001), Ergun e Huber (2004), Jacomino et al. (2007), Fabi et al. (2009).

A manutenção de firmeza é umas das consequências da ligação do 1-MCP aos receptores de etileno, bloqueando assim as respostas desse hormônio (SISLER; SEREK, 1997). Ao longo do tempo, a fruta inicia a produção de etileno e recupera a sensibilidade ao hormônio. Uma vez sensível ao etileno, a fruta retorna o seu amadurecimento possivelmente por síntese de novos receptores locais (BLANKENSHIP; DOLE, 2003).

Hur, Huber e Lee (2005) e Manenoi et al. (2007) também constataram que frutos tratados somente com 1-MCP e aqueles expostos previamente ao etileno antes do 1-MCP não amoleceram normalmente e apresentaram a polpa com textura de aspecto crocante.

Trevisan et al. (2013) verificaram que a aplicação conjunta de etileno e 1-MCP proporcionaram frutos com firmeza desejável ao consumidor (~20 N) no fim do amadurecimento. Por outro lado, frutos tratados apenas com 1-MCP permaneceram muito firmes, portanto, impróprios para o consumo e frutos controle amoleceram rapidamente. Sañudo-Barajas et al. (2009) também relataram que mamões do grupo controle ou tratados apenas com etefon amoleceram rapidamente, aqueles tratados apenas com 1-MCP tiveram o amolecimento inibido até 15 dias de armazenamento e frutos tratados com 1-MCP 24 horas após aplicação etefon apresentaram firmeza intermediária aos frutos tratados apenas com etileno e 1-MCP. Para Zhang et al. (2009) e Zhu et al. (2015) a associação de etileno + 1-MCP recuperaram as falhas de amadurecimento provocadas quando o inibidor da ação do etileno é aplicado isoladamente.

A atividade da PME apresentou forte correlação com os dados de firmeza e foi crescente em quase todos os tratamentos até o fim do amadurecimento (Figura 4). O mesmo foi observado por Fontes et al. (2008). Os frutos tratados somente com 1-MCP apresentaram atividade crescente da enzima e menores valores em relação aos demais tratamentos em todo período avaliado ($p < 0,05$). Por outro lado, em frutos controle e aqueles tratados com etileno a atividade da PME foi crescente até o sexto dia, seguida por redução drástica no oitavo dia, quando os frutos já estavam totalmente macios e, provavelmente, quase sem atividade da PME. Estes tratamentos diferiram dos demais ($p < 0,05$), mas não diferiram entre si.

Figura 4 - Atividade da enzima pectinametilesterase (PME) em mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Assim como ocorreu com a firmeza, em frutos tratados com os dois reguladores vegetais (etileno + 1-MCP), a atividade da PME atingiu valores intermediários aos valores encontrados em frutos controle ou tratados com etileno (alta atividade da enzima) e aqueles tratados com 1-MCP isoladamente (baixa atividade da enzima). Nestes tratamentos, a atividade dessa enzima foi crescente até o oitavo dia de armazenamento, possivelmente pelo fato de que estes frutos ainda não estavam totalmente macios e, consequentemente, a enzima ainda estava em atividade no processo de amaciamento da polpa.

A retenção da firmeza observada no fim do amadurecimento de frutos tratados apenas com 1-MCP e 1-MCP 12 horas e imediatamente após etileno, deve-se, possivelmente, à baixa velocidade na produção de novos receptores de etileno. Até que frutos tornassem sensíveis ao hormônio novamente, o momento de expressão da enzima PME e de outras enzimas associadas ao amolecimento da parede celular que dependem de etileno pode ter passado.

Hiwasa et al. (2003) sugerem que as falhas de amadurecimento podem refletir em parte, à lenta recuperação da sensibilidade dos tecidos ao etileno. Alternativamente, também pode-se supor que em frutos tratados com 1-MCP a síntese de novos receptores é reduzida, desta forma, estes frutos não recuperam completamente o amadurecimento, conforme descrito por Moya-Leon et al. (2004).

Pinto et al. (2011) verificaram alta atividade dessa enzima nos estágios iniciais do amadurecimento, seguida por queda e oscilação dos valores, em mamões. Por sua vez, o

perfil ascendente da atividade da PME durante o amadurecimento de mamões foi relatado por Paull e Chen (1983), Lazan, Selamat e Ali (1995) e Bron (2006).

Apesar de diversos trabalhos sobre a atividade da PME, os resultados na literatura sobre a atividade dessa enzima durante o amadurecimento dos frutos, são controversos. Pesquisas mostram que a atividade dessa enzima pode diminuir permanecer constante ou aumentar durante o amadurecimento, dependendo do fruto e do método de extração da enzima (ALI; CHIN; LAZAN, 2004).

A solubilização da pectina, devido ao aumento da atividade da pectinametilesterase, parece ser uma das razões para o amolecimento da polpa de mamão durante o amadurecimento (PAULL; CHEN, 1983). A pectina metilesterase promove a desmetilação da pectina através da hidrólise de radicais metila, expondo a carboxila dos ácidos galacturônicos e liberando metanol e pectina de baixa metilação (ARBAISAH et al., 1996). Embora não modifique o comprimento da cadeia de pectina, a pectina metilesterase altera algumas das propriedades do polímero, como, por exemplo, a solubilidade, além de disponibilizar substrato para a ação de outras enzimas, como a poligalacturonase e a β -Galactosidase.

3.3.2 Coloração da casca

Os valores do °hue da casca decresceram em todos os tratamentos (Figura 5A), indicando o amadurecimento e o desenvolvimento da cor amarela da casca dos mamões ($p < 0,05$). Os maiores decréscimos de °hue foram observados em frutos dos tratamentos controle e etilenom em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$). Os frutos tratados com 1-MCP isoladamente e 1-MCP aplicado 12 horas e imediatamente após o etileno apresentaram os menores decréscimos no ângulo hue e, conseqüentemente, permaneceram verdes por mais tempo.

Os frutos tratados com etileno e 1-MCP simultaneamente diferiram dos demais tratamentos ($p < 0,05$) e apresentaram valores de °hue intermediários aos frutos controle e os demais em associação com etileno e 1-MCP.

Na avaliação da coloração da casca mediante escala de notas (Figura 5B), ficou ainda mais evidente o rápido amarelecimento nos tratamentos controle e etileno, em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$).

A

Figura 5 – (A) Escala utilizada para nota de cores da casca dos mamões, (B) Ângulo hue da casca e (C) nota de cor da casca de mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Assim como ocorreu no $^\circ$ hue, os frutos tratados somente com 1-MCP e 1-MCP aplicado 12 horas e imediatamente após o tratamento com etileno não diferiram entre si ($p>0,05$) e observou-se o desenvolvimento tardio da coloração amarela. A aplicação simultânea dos reguladores teve efeito no retardo do amarelecimento da casca até o quarto dia de armazenamento. Após esse dia, os valores de nota não diferiram dos frutos controle,

indicando que a aplicação simultânea do etileno com o 1-MCP diminuiu o efeito do inibidor da ação de etileno como observado por Zhang et al. (2009), Trevisan et al. (2013) e Zhu et al. (2015).

Jacomino et al. (2007) e Souza et al. (2009) também relataram em seus experimentos que houve retenção da cor verde em mamões tratados com 1-MCP em relação aos frutos que não foram tratados com o bloqueador, porém os frutos destes experimentos amoleceram normalmente, diferente do que foi observado no presente trabalho.

O efeito causado pelo 1-MCP na coloração do mamão não ocorreu da mesma forma que as alterações de firmeza. Em relação a cor, as mudanças foram apenas desaceleradas (Figura 6), ao passo que, as mudanças observadas na firmeza foram comprometidas pelo uso do inibidor, pois os frutos não amoleceram normalmente, mostrando efeito diferencial do 1-MCP em diferentes indicadores de amadurecimento, como observado também por Trevisan et al. (2013).

Figura 6 – Coloração da casca de mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 2, 4, 6 e 8 dias. $n=10$

É amplamente difundido que o etileno exerce papel fundamental no processo de amadurecimento de frutos climatéricos, iniciando e coordenando diversos processos como desenvolvimento da cor, amolecimento e formação do aroma. No entanto, estudos com frutos climatéricos apontam que alguns processos são dependentes e/ou independentes de etileno (FLORES et al., 2001).

De acordo com Guis et al. (1997); Bauchot et al. (1998); Bower et al. (2002), em melões, a mudança da coloração da polpa, o acúmulo de açúcares e a diminuição da acidez foram

processos independentes do etileno, ao passo que, o amolecimento da polpa, a formação do aroma e a respiração climatérica foram totalmente ou parcialmente dependentes de etileno.

Tomates transgênicos com 97% de inibição da produção de etileno apresentaram atraso no desenvolvimento da cor, na perda da acidez e acúmulo de açúcar, mas não houve atraso do amolecimento. Os 3% de etileno residual alteraram os processos de amadurecimento dependentes deste hormônio e os frutos foram capazes de completar esse processo (MURRAY et al., 1993).

Manenoi et al. (2007) também verificaram que não houve comprometimento no desenvolvimento da cor amarela da casca em mamões tratados apenas com 1-MCP e que o atraso no desenvolvimento da cor foi mais significativo quando os frutos tratados estavam em estágio de amadurecimento precoce. Da mesma forma, o tratamento com 1-MCP em frutos em estádios precoces de amadurecimento atrasaram, mas não inibiram o desenvolvimento normal da cor (HURR; HUBER; LEE, 2005).

Por outro lado, Golding et al. (1998) verificaram que a aplicação de 1-MCP 6, 12 ou 24 horas após a aplicação de propileno atrasou e comprometeu significativamente o desenvolvimento da cor da casca de bananas. As frutas apresentaram o amarelecimento da casca incompleto e desigual, assim como Pelayo et al. (2003).

Ergun et al. (2005) reportaram que melões ‘Galia’ tratados com 1-MCP em estágio precoce de amadurecimento não completaram o desenvolvimento da cor, mas amoleceram normalmente após um significativo atraso.

3.3.3 Pigmentos da casca e da polpa: teores de clorofila e carotenóides

As mudanças de coloração de verde para amarelo nos diferentes tratamentos estão associadas à degradação da clorofila e à síntese/aparecimento de carotenóides na casca dos frutos no decorrer do seu amadurecimento. Este resultado foi confirmado com os dados obtidos no presente trabalho (Figura 7).

Figura 7 - (A) Teores de clorofila na casca, (B) carotenóides na casca e (C) carotenóides na polpa (C) de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Os teores de clorofila da casca decresceram em todos os tratamentos de forma mais acentuada até o quarto dia de armazenamento (Figura 7A). Em frutos controle e aqueles tratados somente com etileno, o declínio dos teores de clorofila ocorreu mais rapidamente em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$).

Os frutos tratados apenas com 1-MCP e aqueles tratados com 1-MCP 12 horas e imediatamente após a aplicação de etileno não diferiram entre si ($p > 0,05$) e mantiveram por mais tempo maiores teores de clorofila na casca de mamões em relação aos demais tratamentos. Apesar dessas diferenças entre os teores de clorofila dos tratamentos, no fim do período de armazenamento os frutos de todos os tratamentos encontravam-se totalmente amarelo, com valores de clorofila total inferiores a $0,2 \text{ mg g}^{-1}$.

A decomposição da clorofila ocorre em decorrência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como por exemplo, o pH, ativação da enzima clorofilase e a presença de sistemas oxidantes (BLEINROTH et al., 1992). Portanto, o uso do 1-MCP, associado ou não ao etileno, bloqueou o sítio ação do etileno e retardou o processo de degradação da clorofila do mamão 'Golden', sem inibir os fatores que contribuem para o desenvolvimento da cor amarela da casca.

Concomitantemente ao declínio nos teores de clorofila, verificou-se aumento nos teores de carotenóides totais da casca dos mamões em todos os tratamentos, principalmente em frutos controle, que diferiram dos demais tratamentos ($p < 0,05$), seguido pelos frutos expostos somente ao etileno (Figura 7B).

Os frutos tratados com 1-MCP, associados ou não ao etileno, não diferiram entre si em quase todo período de armazenamento e também apresentaram aumento nos teores de carotenóides ao longo do amadurecimento, porém de forma mais lenta do que os demais tratamentos ($p < 0,05$).

De um modo geral, a síntese de carotenoides da casca foi baixa no presente trabalho. Provavelmente o que ocorreu com os frutos foi que degradação da clorofila fez com que aparecessem os pigmentos amarelos da casca. Os teores de carotenóides da casca encontrados no presente trabalho estão de acordo com os resultados observados por Fonseca et al. (2007) em mamões 'Golden' e 'Sunrise Solo'.

Barreto et al. (2011), afirmaram que mamões tratados com 1-MCP ou etileno, apresentaram baixo conteúdo de carotenóides totais quando foram comparados aos frutos do controle. Este fato sugeriu que ambos os tratamentos podem inibir ou deslocar a via biossintética dos carotenoides.

Para Moya-Léon et al. (2004), o primeiro sinal de desenvolvimento de amadurecimento é o amarelecimento da casca, que responde às baixas concentrações de etileno em mamão *Vasconcellea pubescens*. Nestes frutos, se houver 10% da coloração da casca amarela, a degradação da clorofila já foi iniciada e não pode ser interrompida pelo tratamento com 1-MCP.

O teor de carotenoides na polpa foi crescente em todos os tratamentos durante o amadurecimento (Figura 7C). Assim como ocorreu na casca, os teores desses pigmentos na polpa foram superiores em frutos controle e aqueles tratados somente com etileno em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$) e atingiram concentrações de $1,07 \text{ mg g}^{-1}$ e $1,33 \text{ mg g}^{-1}$ no oitavo dia de armazenamento, respectivamente. Os menores teores do pigmento na polpa foram observados em frutos tratados apenas com 1-MCP, que atingiu a concentração de $0,86 \text{ mg g}^{-1}$ neste mesmo dia. Os demais tratamentos apresentaram valores de acúmulo desse pigmento intermediários aos frutos controle e aqueles tratados apenas com 1-MCP.

Fabi et al. (2007) verificaram que, embora a aplicação de etileno tenha antecipado alguns eventos relacionados ao amadurecimento, as quantidades finais de licopeno, β -caroteno e β -criptoxantina foram similares aos frutos tratados com 1-MCP. Esses resultados sugerem que o efeito do etileno na via de biossíntese dos carotenóides está sob uma complexa regulação em mamões 'Golden'.

3.3.4 Sólidos solúveis (SS)

Os teores de sólidos solúveis apresentaram padrão semelhante em todos os tratamentos (Figura 13). Houve uma variação de 10 a 12° Brix nos teores de sólidos solúveis e os tratamentos não diferiram entre si ($p > 0,05$).

Figura 13 – Teores de sólidos solúveis (SS) em mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Jacomino et al. (2002, 2007) também verificaram que os teores de sólidos solúveis não foram alterados em mamões ‘Sunrise Solo’ e ‘Golden’, respectivamente, tratados com 1-MCP. Para Moya-Léon et al. (2004), esta variável não depende do etileno em mamões *Vasconcellea pubescens* L. Gallon (2010) e Trevisan (2012) também encontraram valores na mesma faixa em mamões ‘Golden’, mostrando que quase não existe variação no teor de sólidos solúveis desta variedade, mesmo com o uso de tratamentos pós-colheita.

Mamões apresentam pouca ou nenhuma variação nos teores de sólidos solúveis após a colheita, visto que esta se deve à degradação da parede celular e à hidrólise de sacarose. Como este polissacarídeo é acumulado no fruto em sua maior parte quando ainda está na planta (CHAN; HIBBARD; GOO, 1979) e os mamões possuem menos de 0,5% de amido (SELVARAJ et al., 1982; PAULL et al., 1997; GOMEZ et al., 1999), o aumento de açúcares solúveis vindos da degradação deste polímero não é significativo.

Gomez et al. (2002) avaliaram os principais açúcares solúveis (glicose, frutose e sacarose) em mamões verdes, intermediários e maduros e não observaram diferença significativa entre os estádios de maturação e sugeriram que a percepção do sabor doce se deve ao processo de mastigação que libera hexoses. Além disso, a percepção do sabor doce pode estar relacionada ao desaparecimento do látex, considerado uma característica de fruto verde pelos julgadores de análise sensorial.

3.3.5 Atividades Fisiológicas

3.3.5.1 Produção de etileno

A produção de etileno foi crescente em todos os tratamentos durante o armazenamento ($p < 0,05$). Os frutos controle e aqueles tratados somente com etileno exibiram maiores taxas de produção de etileno em relação aos demais tratamentos até o terceiro dia de armazenamento. No segundo dia foi observado um pico nestes frutos, que pode corresponder ao climatério. Os tratamentos com 1-MCP isoladamente ou em associação com etileno mantiveram baixas produções desse hormônio nesse período ($0,75$ - $1,86 \mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) e não apresentaram pico climatérico (Figura 8).

Figura 8 - Produção de etileno em mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=10$

Após o quarto dia de armazenamento houve aumento pronunciado na produção de etileno, principalmente em frutos tratados somente com 1-MCP, associados ou não ao etileno. Os frutos tratados com 1-MCP 12 horas após a aplicação de etileno atingiram maiores produções de etileno, seguido por aqueles tratados com 1-MCP imediatamente após a exposição ao etileno e 1-MCP isoladamente, atingindo valores de $13,94$, $11,05$ e $10,52 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente, no sexto dia de armazenamento.

Esse aumento da produção de etileno no fim do armazenamento em frutos que receberam 1-MCP mostrou-se bastante consistente, tendo ocorrido em todas as repetições do

experimento. É possível que o 1-MCP ao se ligar ao sítio do etileno bloqueou a regulação normal por retroalimentação que o etileno exerce em sua própria biossíntese, conforme sugerido por Golding et al. (1998), porém houve a síntese de novos receptores de etileno após o período de bloqueio causado pelo 1-MCP e a retomada da sensibilização dos tecidos ao etileno, levando às altas produções desse hormônio.

Trevisan et al. (2013) verificaram que mamões tratados apenas com 1-MCP mostraram significativo aumento na produção de etileno a partir do 7º dia de armazenamento, entretanto, a firmeza destes frutos permaneceu elevada para o consumo. Adicionalmente estes autores sugeriram que os frutos retomaram a produção de etileno após alguns dias da aplicação do 1-MCP, porém seu aumento foi muito tardio em relação aos frutos do controle e prejudicou o amadurecimento dos frutos deste tratamento. No presente trabalho, o tratamento etileno + 1-MCP simultâneo mostrou-se promissor porque os frutos mantiveram os padrões de qualidade e aumentaram a vida útil em relação ao controle.

Em alguns frutos e tecidos, aplicação de 1-MCP bloqueia o mecanismo de auto-inibição da síntese do etileno, induzindo a síntese de etileno (PORAT et al., 1999; LAFUENTE et al., 2001). Esse padrão também foi observado anteriormente em frutos não-climatéricos em situações de estresse por baixa temperatura (SELVARAJAH et al., 2001; SALVADOR et al., 2004).

Estudos realizados por Philosoph-Hadas e Aharoni (1994); Mullins, McCollun e McDonald (1999, 2000) mostraram que diminuição da ação do etileno auto-inibitório através da presença do 1-MCP ligado ao seu receptor, resultou em maiores níveis de ACC e por sua vez, aumento da biossíntese de etileno.

McCollum e Maul (2007) verificaram que o 1-MCP inibiu o desverdecimento de uvas, mas estimulou a produção de etileno e a taxa de respiração no fim do amadurecimento desses frutos dependendo da dose de 1-MCP aplicada. Esses autores ainda constataram que a aplicação de etileno em uvas aumentou de forma discreta a produção de etileno em relação aos frutos não tratados e que o bloqueio da percepção do etileno através do 1-MCP levou a um aumento massivo na produção de etileno.

Esse aumento na síntese de etileno no fim do armazenamento também foi observado em folhas de coentro (JIANG et al., 2002) e salsa (ELLA et al., 2003). Pelayo et al. (2003) observaram que a produção de etileno foi maior em bananas tratadas com 100 nL L⁻¹ de 1-MCP do que nos frutos controle, após nove dias de armazenamento a 20°C.

Golding et al. (1998) constataram que a produção de etileno em bananas tratadas com 1-MCP 6, 12 e 24 horas após à aplicação de propileno foram superiores a de frutos tratados

apenas com propileno. A aplicação de propileno isoladamente antecipou o aumento da produção de etileno, mas a magnitude dos valores foi baixa em relação aos frutos tratados com 1-MCP.

3.3.5.2 Atividade respiratória

Foi crescente nos frutos controle e aqueles tratados apenas com etileno. Nos demais tratamentos houve oscilação nos valores desta variável durante o amadurecimento (Figura 9).

Figura 9- Atividade respiratória em mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=10$

Os frutos controle apresentaram os maiores valores desta variável em todos os dias de análise ($p < 0,05$), seguido pelos frutos tratados com etileno isoladamente e etileno + 1-MCP simultaneamente que não diferiram entre si ($p > 0,05$) até o quarto dia de amadurecimento. Por outro lado, os frutos tratados com 1-MCP isoladamente e 1-MCP aplicado 12 horas e imediatamente após a exposição ao etileno apresentaram os valores mais baixos de respiração em relação aos tratamentos anteriormente citados.

O 1-MCP não mudou o padrão das respostas de respiração dos frutos, pois diferente da produção de etileno não foram observadas altas taxas respiratórias no fim do amadurecimento em frutos tratados com o inibidor da ação do etileno. Pelo contrário, frutos tratados com 1-

MCP, associados ou não ao etileno apresentaram atividade respiratória mais baixa do que os frutos controle. Esse padrão também foi observado por Pelayo et al. (2003).

Em trabalhos conduzidos por Trevisan et al. (2013) a maior e a menor atividade respiratória foi apresentada por frutos controle e tratados com 1-MCP, respectivamente. Os frutos tratados com etileno em associação com 1-MCP apresentaram valores intermediários desta variável e corroboram com a faixa encontrada no presente estudo. Sañudo-Barajas et al. (2009) também constataram que a taxa inicial de respiração foi menor em frutos tratados com 1-MCP, porém este efeito não foi observado quando o inibidor foi aplicado depois do etefon em mamões ‘Maradol’.

Assim como, no presente trabalho, Golding et al. (1998) também verificaram que, embora a produção de etileno fosse maior em frutos tratados com 1-MCP, estes apresentaram baixa respiração em relação aos frutos controle. Adicionalmente, estes autores verificaram que a aplicação de 1-MCP, 6 e 12 horas após a exposição ao propileno foi mais eficiente na inibição da respiração do que frutos tratados com o inibidor 24 horas após aplicação de propileno.

Maneoni et al. (2007) verificaram que a atividade respiratória de mamões do grupo controle começou a aumentar depois de 2 dias a 22°C, saindo de 15 para 22 mL CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹, atingindo um ponto máximo após 10 dias. As frutas tratadas com 1-MCP não apresentaram pico climatérico distinto, mantendo a respiração por volta de 15 mL CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹, praticamente constante por cerca de 15 dias, valores que corroboram com os do presente estudo.

3.3.5.3 Concentração endógena de etileno (CEE)

A CEE foi crescente em todos os tratamentos, atingindo altas concentrações no fim do amadurecimento assim como a produção de etileno (Figura 10).

Figura 10 - Concentração endógena de etileno em mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=10$

Até o terceiro dia, todos os tratamentos apresentaram baixa CEE e não diferiram entre si ($p>0,05$). Após esse dia, os frutos tratados com 1-MCP, associados ou não ao etileno, apresentaram aumento acentuado na CEE até o fim do amadurecimento.

Os frutos tratados somente com o 1-MCP e 1-MCP simultaneamente e 12 horas após aplicação de etileno apresentaram padrão de aumento da CEE semelhante e não diferiram entre si ($p>0,05$). Estes tratamentos atingiram valores de 38,52, 38,06 e 37,41 ppm de etileno, respectivamente, no último dia de análise.

Em frutos controle e aqueles tratados apenas com etileno também foi observado aumento na CEE, porém de forma menos acentuada do que os tratados com 1-MCP, associados ou não ao etileno, atingindo concentrações de 12,42 e 16,50 ppm de etileno no fim do armazenamento. Esse padrão também foi constatado por Trevisan et al. (2015), em que verificaram alta concentração endógena de etileno no fim do amadurecimento em mamões 'Golden' tratados com 1-MCP, com ou sem etileno.

O aumento na CEE no final do armazenamento de frutos tratados com 1-MCP, com ou sem etileno, assim como ocorreu para produção de etileno, pode estar relacionado à retomada da sensibilidade dos tecidos ao etileno após o período de bloqueio da ação do etileno, como também pode ter ocorrido mudanças no mecanismo de retroalimentação normal da biossíntese de etileno.

Em relação aos frutos tratados com etileno + 1-MCP, o intervalo entre as aplicações dos reguladores não causou mudanças drásticas na CEE, pois no fim do período de armazenamento essas concentrações não diferiram entre estes tratamentos.

De acordo com Golding et al. (1998), a aplicação de 1-MCP 6 e 12 horas após a exposição ao etileno atrasou o amadurecimento de bananas de forma mais severa do que aquelas tratadas com 1-MCP 24 horas após o tratamento com propileno. Esses resultados mostram que o funcionamento dos receptores de etileno são necessários pelo menos para as primeiras 12 horas de amadurecimento em bananas, embora ainda existiam eventos bioquímicos dependentes de receptores de etileno ativos 24 horas após o início do amadurecimento. Por exemplo, a produção de etileno continuou a aumentar em frutos tratados com 1-MCP 24 horas após a exposição ao propileno.

3.3.6 Atividade da enzima ACC oxidase

A atividade da enzima ACC oxidase foi crescente em todos os tratamentos até o fim do amadurecimento ($p < 0,05$), porém, apresentou magnitude de valores diferentes entre os tratamentos (Figura 11).

Figura 11 - Atividade da enzima ACC oxidase em mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

Os frutos controle e aqueles tratados com etileno não diferiram entre si ($p>0,05$) e apresentaram baixas atividades dessa enzima em relação aos demais tratamentos. Por sua vez, os valores mais altos foram observados em frutos tratados com 1-MCP isoladamente e imediatamente após aplicação de etileno ($p<0,05$). Já os frutos tratados com etileno+1-MCP simultaneamente e 1-MCP 12 horas após a exposição ao etileno apresentaram valores intermediários aos de maiores e menores atividades e diferiram entre si.

A enzima ACC oxidase é uma das enzimas chave na produção do etileno. Ela catalisa a etapa final da formação de etileno pela conversão do 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), formado pelo ACC sintase em etileno e sua expressão é finamente regulada em plantas (HOFFMAN; YANG, 1980; BARRY et al., 1996).

Os resultados de atividade dessa enzima foram bem correlacionados com os de produção de etileno e CEE, em que frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno, apresentaram atividades mais altas desta enzima até o fim do amadurecimento em relação aos demais tratamentos.

Moya- Leon et al. (2004) observaram que a atividade da ACC oxidase atingiu valores de duas a três vezes mais elevados em frutos tratados com 1-MCP do que frutos controle, em mamões *Vasconcellea pubescens*, assim como Pelayo et al. (2003), em bananas. Para Dal Cin et al. (2006), a aplicação de 1-MCP em pêssegos não influenciou a atividade da ACC oxidase, assim como na produção de etileno. Por outro lado, Zhu et al. (2015) constataram baixa atividade da ACC oxidase em bananas tratadas com 1-MCP e etileno + 1-MCP simultaneamente em relação aos frutos controle. Também houve redução na atividade da ACC oxidase em ameixas (KHAN; SINGH, 2007) e damasco (PIRIYAVINIT et al., 2011) tratados com 1-MCP.

Em frutos climatéricos, alguns autores relatam que a atividade da ACC oxidase é mais alta em estádios precoce do fruto e durante o amadurecimento (climatério) e menor atividade dessa enzima no período pós climatério como em estudos conduzidos em tomates (VAN DE POEL et al., 2015). No entanto, um novo gene de ACC oxidase em mamão foi descoberto por Chen et al. (2003) e teve aumento da expressão no final do amadurecimento do fruto, diferentemente de outros genes isolados, e foi caracterizando como o gene responsável por parte da oxidação do composto ACC na fase de senescência do fruto.

Neste contexto, pode-se sugerir que o uso do 1-MCP estimulou a concentração endógena de etileno e a produção de etileno no fim do amadurecimento de mamão 'Golden' pelo aumento da atividade da enzima ACC oxidase. Apesar de o mamão ser uma fruta

climatérica, não apresenta um típico pico climatérico, mas apresenta a produção autocatalítica de etileno.

3.3.7 Conteúdo de ACC livre na polpa

Os maiores conteúdos de ACC foram detectados nos frutos controle e naqueles tratados somente com etileno em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$). Com exceção dos frutos tratados com 1-MCP imediatamente após o etileno, que apresentaram um alto valor de ACC no quarto dia de armazenamento, pode-se verificar que todos os tratamentos que continham 1-MCP apresentaram baixos níveis de ACC (Figura 12).

Nos frutos tratados apenas com etileno a produção de ACC foi antecipada e estimulada, pois no segundo dia observou-se altas concentrações desse composto. No controle, essas altas concentrações de ACC foram detectadas apenas no quarto dia e se estendeu até o sexto dia.

Figura 12 – Conteúdo de ACC livre em mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=10$

É possível que a aplicação de 1-MCP, mesmo associado ao etileno, comprometeu a atividade da enzima ACC sintase e a disponibilidade de ACC nestes frutos foi limitada. Moya-Léon et al. (2004) também observaram que mamões tratados apenas com 1-MCP mantiveram baixos conteúdos de ACC, sugerindo alteração na atividade da enzima ACC sintase, assim como Khan e Singh (2007) e Piriavinit et al. (2011). Zhu et al. (2015) também

observaram baixa atividade da ACC sintase em tratamentos com 1-MCP + etileno em relação aos frutos controle, indicando que o etileno não foi capaz de aliviar a inibição causada pelo 1-MCP na atividade desta enzima.

Por outro lado, Van de Poel et al. (2012) não observaram diferenças significativas no conteúdo de ACC em tomates tratados com 1-MCP em relação a frutos não tratados. Para Mathooko et al. (2001), o tratamento com 1-MCP apresentaram pouca supressão da produção de etileno e inibição da perda de firmeza durante os primeiros dias de amadurecimento, porém, o teor de ACC foi maior que nos frutos do controle. Segundo os autores, o 1-MCP não teve efeito na atividade da ACC sintase, porém inibiu em 50% a atividade da ACC oxidase, fato este que poderia explicar pelo menos em parte, o aumento no conteúdo de ACC observado nos frutos que foram tratados com 1-MCP.

3.4 Conclusões

- A aplicação de etileno + 1-MCP, simultaneamente, aumentou a vida de prateleira de mamões 'Golden' sem comprometer a qualidade final.
- O uso do 1-MCP isoladamente, bem como quando aplicado 12 horas ou imediatamente após a exposição ao etileno prejudicou o amolecimento da polpa de mamões 'Golden'.
- A mudança de coloração da casca de verde para amarelo foi apenas desacelerada em frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno, não havendo comprometimento da coloração final.
- Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram altos valores de concentração endógena de etileno, produção de etileno e atividade da enzima ACC oxidase ao final do armazenamento, indicando que a biossíntese normal do etileno foi afetada.
- O baixo conteúdo de ACC livre encontrado nos frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno, deve-se provavelmente à inibição da enzima ACC sintase.

Referências

ALI, Z.M.; CHIN, L.H.; LAZAN, H.A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**, Limerick, v.167, p.317-327, 2004.

ARBAISAH, S.M.; SABIH, B.A.; JUNAINAH, A.H.; JAMILAH, B. Determination of optimum conditions for pectinase extraction from soursop fruit (*Anonamuricata*) using response surface methodology. **Food Chemistry**, London, v. 55, n. 3, p. 289-292, 1996.

ASMAR, S. A.; ABREU, C.M.P.; LIMA, R.A.Z.;CORREA, A.D.A.;SANTOS,C.D. Firmeza de mamão tratado com 1-MCp em diferentes tempos de exposição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 440-444, mar./abr. 2010.

BALBONTIN, C.; GAETE-EASTMAN, C.; VERGARA, M.; HERRERA, R.; MOYALEON, M.A. Treatment with 1-MCP and the role of ethylene in aroma development of mountain papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Talca, v. 43, p. 67-77, 2007.

BARRETO, G.M.P.; FABI, J.P.; CORDENUNSI, B.R.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O.; MERCADANTE, A.Z. Influence of ethylene on carotenoids biosynthesis during papaya post harvesting ripening. **Journal of Food Composition and Analysis**, Beltsville, v. 24, p. 620-624, 2011.

BARRY, C.S.; BLUME, B.; BOUZAYEN, M.; COOPER, W.; HAMILTON, A.J.; GIERSON, D. Differential expression of the 1-aminocyclopropane- 1-carboxylate oxidase gene family of tomato.**Plant Journal**, Wagineng, v.9,p. 525-535,1996.

BAUCHOT, A.D.; MOTTRAM, D.S.; DODSON, P.; JOHN, A.T. Effect of aminocyclopropane- 1-carboxylic acid oxidase antisense gene on the formation of volatile esters in Cantaloupe Charentais melon (cv. Ve´drantais).**Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Nairobi, v.46 p. 4787–4792, 1998.

BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-methylcyclopropene: a review.**Postharvest Biology and Technology**, Raleigh, v. 28, p. 1–25, 2003.

BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M.; ARDITO, E.F.G.; CASTRO, J.V.; SPAGNOL, W.A.; NEVES FILHO, L.C. **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais**. 2. ed. Campinas: ITAL, 1992. 203p. (Manual Tecnico, 9).

BOWER, J.; HOLDFORD, P.; LATCHE´, A.; PECH, J. C. Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of the melon.**Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 26, p. 135–146, 2002.

BRON, I.U. **Amadurecimento do mamão ‘Golden’**: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado. 2006. 66 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

CHAN JR., H.T.; HIBBARD, K.L.; GOO, T. Sugar composition of papayas during fruit development.**Hortscience**, Alexandria, v. 14, n. 3, p. 140-141, 1979.

CHEN, Y.T.; LEE, Y.R.; YANG, Y.T.; WANG, Y.T.; YANG, S.F.; SHAW, J.F. A novel ACC oxidase gene (CO-ACO2) associated with late stage fruit ripening and leaf senescence. **Plant Science**, Moscow, v. 164, p. 531-540, 2003.

CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; DUPILLE, E.; RECASENS, I. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated 'Conference' pears. **Journal of Science and Food Agriculture**, New York, v. 10, n. 15, p. 1781-1788, 2011.

DAL CIN, V.; RIZZINI, F.M.; BOTTON, A.; TONUTTI, P. The ethylene biosynthetic and signal transduction pathways are differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.42, p.125-133, 2006.

ELLA, L.; ZION, A.; NEHEMIA, A.; AMNON, L. Effect of the ethylene action inhibitor 1-methylcyclopropene on parsley leaf senescence and ethylene biosynthesis. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 30, p. 67-74, 2003.

EL-MIR, M.; GERASOPOULOS, D.; METZIDAKIS, I.; KANELIS, A.K. Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, p. 215–226, 2001.

ERGUN, M.; HUBER, D.J. Suppression of ethylene perception extends shelf-life and quality of 'Sunrise Solo' papaya fruit at both pre-ripe and ripe stages of development. **European Journal of Horticultural Science**, Wageningen, v.69, p.184–192, 2004.

FABI, J.P.; CORDENUNSI, B.R.; SEYMOUR, G.B.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O. Molecular cloning and characterization of a ripening-induced polygalacturonase related to papaya fruit softening. **Plant Physiology and Biochemistry**, Bologne, v. 47, n. 11/12, p. 1075-1081, 2009.

FABI, J.P.; CORDENUNSI, B.R.; BARRETO, G.P.M.; MERCADANTE, A.Z.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O. Papaya fruit ripening: response to ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Paris, v. 55, p. 6118-6123, 2007.

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 pathways in Cantaloupe melons. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 113, p. 128-133, 2001.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Mamão. In: _____. **AGRIANUAL 2016**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2016. p. 317-324.

FONSECA, M.J.O.; LEAL, N.R.; CENSI, S.A.; CECON, P.R.; BRESSAN-SMITH, R.E.; BALBINO, J.M.S. Evolução dos pigmentos durante o amadurecimento de mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 451-455, 2007.

FONTES, R.V.; SANTOS, M.P.; FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M. Atividade da pectinametilesterase e sua relação com a perda de firmeza da polpa de mamão cv. Sunrise Solo e Tainung. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p. 54-58, 2008.

GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões ‘Golden’**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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.

GOMEZ, M.L.P.A.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. Metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do mamão (*Carica papaya* L. cv. ‘Solo’): influência da radiação gama. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 246-252, 1999.

_____. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n.1, p. 442-447, 2002.

GONZALEZ-AGUILAR, G.; VALENZUELA-SOTO, E.; LIZARDI-MENDOZA, GOYCOOLEA, F.; MARTINEZ-TÉLLEZ, M.; VILLEGAS-OCHOA, M.; MONROY-GARCÍA, I.; AYALA-ZAVALA, J. F. Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya ‘Maradol’. **Journal of Food Science Agriculture**, Sonora, v. 89, p. 15-23, 2009.

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

HARRIS, D.R.; SEBERRY, J.A.; WILLS, R.B.H.; SPOHR, L.J. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v. 20, p. 303–308, 2000.

HIWASA, K.; KINUGASA, Y.; AMANO, S.; HASHIMOTO, A.; NAKANO, R.; INABA, A.; KUBO, Y. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 771–779, 2003.

HOFFMAN, N.E.; YANG, S.F. Changes of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid content in ripening fruits in relation to their ethylene production rates. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Davis, v. 105, p. 492-495, 1980.

HOFMAN, P.J.; JOBIN-DECOR, M.; MEILBURG, G.F.; MACNISH, A.J.; JOYCE, D.C. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Darwin, v. 41, p. 567-572, 2001.

HUBER, D.J. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. **Hortscience**, Alexandria, v. 43, p. 1140-1149, 2008.

HURR, B.M.; HUBER, D.J.; LEE, J.H. Differential responses in color changes and softening of 'Florida 47' tomato fruit treated at green and advanced ripening stages with the ethylene antagonist 1-methylcyclopropene. **HortTechnology**, New York, v. 15, p. 617–622, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Estatísticas, frutas frescas, comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas 2009-2010**. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exportação/ComparativoExportacoesBrasileiras2009-2010.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R.C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

JACOMINO, A.P.; TREVISAN, M.J.; ARRUDA, M.C. de; KLUGE, R.A. Influence of the interval between harvest and 1-methylcyclopropene application on papaya ripening. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 456-459, 2007.

JIANG, W.; SHENG, Q.; SHOU, X.J.; ZHANG, M.J.; LIU, X.J. Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-methylcyclopropene and ethylene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 26, p. 339–405, 2002.

KARAKURT, Y.; HUBER, D.J. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 219-229, 2003.

KERTESZ, Z.I. Pectic enzymes. **Methods in Enzymology**, Genebra, v. 1, p. 158–166, 1955.

KHAN, A.S.; SINGH, Z. 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. **Postharvest Biology and Technology**, Alexandria, v. 43, p. 298–306, 2007.

LAFUENTE, M.T.; ZACARIAS, L.; MARTINEZ-TELLEZ, M.A.; SANCHEZBALLESTA, T.; DUPILLE, E. Phenylalanine ammonia-lyase as related to ethylene in the development of chilling symptoms during cold storage of citrus fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, p. 6020-6025, 2001.

LAZAN, H.; SELAMAT, M.K.; ALI, Z.M. Galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, p. 106-112, 1995.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, Pasadena, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIU, M.; ZHU, S.; ZHOU, J. Determination of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in apple and peach extracts by high performance liquid chromatography coupled to a fluorescence detector. **Analytical Letters**, Yokohama, v. 45, p. 2324–2333, 2012.

MANEONI, A.; BAYOGAN, E.R.; THUMDEE, S.; PAULL, R.E. Utility of 1-methylcyclopropene as a postharvest treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Honolulu, v. 44, p. 55-62, 2007.

MATHOOKO, F.M.; TSUNASHIMA, Y.; OWINO, W.Z.O.; KUBO, Y.; INABA, A. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Nairobi, v. 21, p. 265-281, 2001.

MCCOLLUM, G.; MAUL, P. 1-methylcyclopropene inhibits degreening but stimulates respiration and ethylene biosynthesis in grapefruit. **Hortscience**, Oxford, v. 42, p. 120-124, 2007.

MOYA-LEON, 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.

MULLINS, E.D.; MCCOLLUM, T.G.; MCDONALD, R.E. Ethylene: a regulator of stress-induced ACC synthase activity in nonclimacteric fruit. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 107, p. 1-7, 1999.

_____. Consequences on ethylene metabolism of inactivating the ethylene receptor sites in diseased non-climacteric fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v. 19, p. 155-164, 2000.

MURRAY, A.J.; HOBSON, G.E.; SCHUCH, W.; BIRD, C.R. Reduced ethylene synthesis in EFE antisense tomatoes has differential effects on fruit ripening processes. **Postharvest Biology and Technology**, Oxford, v. 2, p. 301-313, 1993.

PAULL, R.E.; CHEN, N.J. Postharvest variation in cell wall-degradation enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during ripening. **Plant Physiology**, Washington, v. 72, p. 382-385, 1983.

PAULL, R.E.; NISHIJIMA, W.; REYES, M.; CAVALETTO, C.C. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Alexandria, v. 11, p. 165-179, 1997.

PELAYO, C.B.; VILAS-BOAS, E.V.; BENICHOU, M.; KADER, A.A. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Bangkok, v. 28, p. 75-85, 2003.

PHILOSOPH-HADAS, S.; AHARONI, M.S.N. Role of ethylene in senescence of watercress leaves. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 90, p. 553-559, 1994.

PINTO, L.K.A.; MARTINS, M.L.L.; RESENDE, E.D.; THIÈBAUT, J. T.L. Atividade da pectina metilesterase e da β -galactosidase durante o amadurecimento do mamão cv. Goden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 713-722, set. 2011.

PIRIYANINIT, P.; KETSA, S.; VAN DOORN, W.G. 1-MCP extends the storage and shelf life of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Bangkok, v. 61, p. 15-20, 2011.

- PORAT, R.; WEISS, B.; COHEN, L.; DAUS, A.; GOREN, R.; DROBY, S. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 155-163, 1999.
- SALVADOR, A.; ARNAL, L.; MONTERDE, A.; CUQUERELLA, J. Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante' by 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.33, p.285-291, 2004.
- SAÑUDO-BARAJAS, J.A.; LABAVITCH, J.; GREVE, C.; OSUNA-ENCISO, T.; MUYRANGEL, D.; SILLER-CEPEDA, J. Cell wall disassembly during papaya softening: role of ethylene in changes in composition, pectin-derived oligomers (PDOs) production and wall hydrolases. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 51, p. 158-167, 2009.
- SELVARAJ, Y.; SUBRAMANYAN, M.D.; IYER, C.P.A. Changes in the chemical composition of four cultivar of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. **Journal of Horticultural Science**, Bangalore, v. 5, p. 135-143, 1982.
- SISLER, E.C. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level. **Biotechnology Advances**, Raleigh, v. 24, p. 357-367, 2006.
- 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.
- SOUZA, M.S.; AZEVEDO, S.F.; SILVA, M.G.; PEREIRA, M.G.; OLIVEIRA, J.G. Resposta da aplicação do 1-MCP em frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 693-700, set. 2009.
- TREVISAN, M.J. **Efeito da aplicação de 1-metilciclopropeno e etileno na fisiologia e no amadurecimento de mamões 'Golden'**. 2012. 117p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- TREVISAN, M.J.; CUNHA JUNIOR, L.C.; CARON, V.C.; JACOMINO, A.P. Efeito da aplicação simultânea de 1-MCP e etileno exógeno na concentração de etileno endógeno em mamões 'Golden'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO MÍNIMO E PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, FLORES E HORTALIÇAS, 1., 2015, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2015. p. 45-50.
- TREVISAN, M.J.; JACOMINO, A.P.; CUNHA JUNIOR, L.C.; ALVES, R.F. Aplicação de 1-metilciclopropeno associado ao etileno para minimizar seus efeitos na inibição do amadurecimento do mamão 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p.384-390, jun. 2013.

VAN DE POEL, B.; BULENS, I.; MAARTEN, A.; HERTOOG, M.L.A.T.M.; DREESEN, R.; WIRTZ, M.; VANDONINCK, S.; OPPERMAN, Y.; KEULEMANS, J.; HELL, R.; WAELEKENS, E.; DE PROFT, M.P.; SAUTER, M.; NICOLAI, B.M.; GEERAERD, A.H. Targeted systems biology profiling of tomato fruit reveals coordination of the Yang Cycle and a distinct regulation of ethylene biosynthesis during postclimacteric ripening. **Plant Physiology**, New York, v. 160, p. 1498–1514, 2012.

VILLALOBOS-ACUNA, M.G.; BIASI, W.V.; MITCHAM, E.J.; HOLCROFT, D. Fruit temperature and ethylene modulate 1-MCP response in ‘Bartlett’ pears. **Postharvest Biology and Technology**, Davis, v. 60, p. 17-23, 2011.

WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 389-409, 2006.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. **HortScience**, Alexandria, v. 40, p. 2096–2101, 2005.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; RAO, J. Ripening delay of mid-climacteric avocado fruit in response to elevated doses of 1-methylcyclopropene and hypoxia-mediated reduction in internal ethylene concentration. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 60, p. 83–91, 2011.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; HURR, B.M.; RAO, J. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 54, p. 1-8, 2009.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 107, p. 23–32, 2015.

4 COMPOSTOS VOLÁTEIS RESPONSÁVEIS PELO AROMA DE MAMÕES ‘GOLDEN’ SUBMETIDOS À APLICAÇÃO ASSOCIADA DE ETILENO E 1-METILCICLOPREOPENO (1-MCP)

Resumo

O 1-metilciclopreopeno (1-MCP) é um forte inibidor da ação do etileno e retarda o amadurecimento de frutos climatéricos como o mamão, permitindo a manutenção da qualidade e maior período para comercialização. No entanto, o uso do 1-MCP pode comprometer o amadurecimento e afetar a qualidade dos frutos pela inibição e ou diminuição da emissão de compostos voláteis. Desta forma, a aplicação associada de 1-MCP + etileno pode diminuir o efeito do inibidor preservando a qualidade e o aroma da fruta. Como o aroma é um dos atributos de qualidade que determinam a intenção de compra do consumidor, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a composição dos compostos voláteis responsáveis pelo aroma em mamões ‘Golden’ submetidos à aplicação associada de etileno e 1-MCP. Para isso, os frutos foram submetidos aos seguintes tratamentos: T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno + 1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h+ 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR até o completo amadurecimento, e a composição volátil destes frutos foi analisada no segundo, sexto e oitavo dias de armazenamento. Estes compostos foram isolados através da técnica de micro-extração em fase sólida (SPME) e identificados por comparação dos espectros de massas obtidos com os dados da biblioteca NIST98, sendo considerados aqueles com índice de similaridade acima de 70%. Os resultados foram submetidos à análise estatística de componentes principais (PCA), através do software XLSTAT. Foram identificados vinte compostos voláteis sendo olinalool o composto majoritário, seguido pelo isotiocianato de benzila e pelos óxidos de linalool 1 e 2 os quais foram identificados em todos os dias avaliados, independente do tratamento utilizado. O 1-MCP afetou o aroma dos frutos e estes não recuperaram o aroma no mesmo teor dos frutos sem tratamento até o oitavo dia de armazenamento. Os tratamentos com 1-MCP, associado ou não ao etileno, afetaram mais os compostos presentes em menor quantidade, responsáveis por nuances de aroma, mas não afetaram prejudicialmente os compostos de impacto do aroma. O tratamento com etileno estimulou a síntese dos compostos de impacto do aroma de mamões ‘Golden’ até o sexto dia de armazenamento.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Amadurecimento; Qualidade; Inibidor da ação do etileno

Abstract

The 1-metilciclopreopeno (1-MCP) is an effective action ethylene inhibitor and reduces the ripening speed of climacteric fruits like papaya, allowing the quality maintenance and longer shelf life period until the commercialization. However, the use of the 1-MCP can compromise the ripening and affect the fruit quality by inhibiting or decreasing the volatile compound emission. So, the application associated ethylene + 1-MCP can reduce the effect of the inhibitor preserving the quality and aroma of the fruit. As the aroma is one quality attribute that determines the consumer's purchase intention, the objective of this study was to evaluate the composition of volatile compounds responsible for the aroma in ‘Golden’ papaya subjected to ethylene and 1-MCP associated application. The fruits were subjected to the following treatments: T1: control, T2: ethylene, T3: 1-MCP T4: ethylene + 1-MCP (simultaneously), T5: ethylene + 12h + 1-MCP and T6: ethylene + 1-MCP (no interval). After

treatments, fruits were stored at $22 \pm 1^\circ\text{C}$ and 85-90% RH to complete ripening. The volatile fruit composition were analyzed in the second, sixth and eighth storage days. The compounds were isolated by solid phase micro-extraction technique (SPME) and identified by comparison of the mass spectra with the NIST98 library data, just results with similarity index over 70% were considered. The data were subjected to principal component analysis (PCA) by the XLSTAT software. Twenty volatiles were identified, the linalool was the major compound, followed by benzyl isothiocyanate and the linalool oxides 1 and 2 were identified every evaluated day, independently of used treatment. The 1-MCP affect the aroma of fruits and these did not recover the same aroma content of the fruits untreated until the eighth day of storage. Treatments with 1-MCP, associated or not to ethylene, affected more compounds present in small amounts, responsible for aroma nuances, but not detrimentally affect the compounds of impact aroma. O ethylene treatment stimulated the synthesis of impact compounds of papayas aroma 'Golden' until the sixth day of storage.

Keywords: *Carica papaya* L.; Ripening; Quality; Ethylene action inhibitor

4.1 Introdução

O mamão é um fruto cuja polpa possui características sensoriais, químicas e digestivas atrativas (SHINAGAWA, 2009), destacando-se por seu alto teor de açúcares, pró-vitamina A, vitamina C (ARAÚJO FILHO et al., 2002), por conter ferro, cálcio, magnésio e potássio (BLEINROTH; SIGRIST, 1995) e pelo aroma agradável (BARI et al. 2006). A cultivar 'Golden', genótipo resultante de seleções do cv. 'Sunrise Solo' (COSTA; PACOVA, 2003), é exportada para os Estados Unidos e Europa, onde é bastante apreciada pelo aroma e sabor, assim como pela cor e textura da polpa.

Os frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) são classificados como climatéricos. Como todo fruto deste grupo, tem seu amadurecimento caracterizado pelo aumento transiente na produção de etileno e na taxa respiratória (FABI et al., 2007; MANENOI et al., 2007). O etileno desempenha um importante papel no amadurecimento de frutos climatéricos, iniciando e coordenando diversos processos, tais como, mudanças de coloração, textura e formação de aroma (BALBONTIN et al., 2007).

O aroma das frutas representa uma mistura complexa de diversos compostos voláteis, incluindo terpenos, álcoois, aldeídos, ésteres, ácidos, cetonas e hidrocarbonetos (LARA et al., 2003). A biossíntese de compostos que formam o aroma das frutas é particularmente sensível a alterações ambientais e ao manejo pré ou pós-colheita que culminam em mudanças nos processos fisiológicos e bioquímicos durante o amadurecimento (ARVANITOYANNIS; MAVROMATIS, 2009). As vias de biossíntese de formação dos compostos voláteis no amadurecimento de frutos climatéricos são bem conhecidas (TRESSL; DRAWERT, 1973;

PÉREZ et al., 1997). Acredita-se que haja três grandes grupos de precursores de aromas em frutos: carboidratos, aminoácidos e ácidos graxos (Figura 1).

Figura 1 - Vias de biossíntese dos compostos de aroma e seus respectivos precursores
Fonte: Schwab, Rikanati e Lewinsohn (2008)

Os principais compostos de aroma no mamão incluem terpenos, ésteres, aldeídos, alcoóis, ácidos orgânicos e cetonas (FUGGATE et al., 2010). O monoterpene linalool é o composto mais abundante (FLATH; FORREY, 1977), no qual constitui 94% do total dos compostos voláteis na variedade do grupo 'Solo' (FRANCO; RODRIGUES-AMAYA, 1993).

Muitos outros compostos voláteis presentes em mamões 'Golden' estão em pequenas quantidades. Porém, apesar da baixa concentração eles podem ter características marcantes na definição do aroma da fruta, pois o poder odorífero de um composto varia para cada substância.

O linalool é um álcool monoterpênico de cadeia aberta bastante volátil e, além de ser um dos principais compostos do aroma de mamão, também já foi detectado em diversas frutas como maracujá, abacaxi (BERNREUTHER; SCHREIER, 1991; WERKHOFF et al., 1998), uva (PATIL et al., 1995), tomate (BALDWIN et al., 2000), morango (AHARONI; GIRI; DEUERLEIN, 2004) e damasco (GUICHARD; SCHLICH; ISSANCHOU, 1990).

O perfil volátil influencia a aceitabilidade sensorial de uma cultura e tem sido relatado que o 1-MCP pode influenciar a produção de voláteis em frutas e legumes (LI et al., 2013; HUBER, 2008; WATKINS, 2012). O tratamento com 1-MCP inibiu a produção da maioria

dos compostos voláteis em maçãs (FAN; MATTHEIS, 1999; LURIE et al., 2002), mamões (MANENOI et al., 2007; BALBONTIN et al., 2007) e mangas (LALEL et al., 2003).

Durante o climatério, a produção de compostos voláteis é uma das várias alterações fisiológicas afetadas pelo etileno (BARRY; GIOVANNONI, 2007; ZHU et al., 2010). No entanto, o etileno não regula todas as etapas de produção dos voláteis (FLORES et al., 2002; SCHAFFER et al., 2007; ZHU et al., 2015).

O 1-MCP tem sido extensivamente utilizado para manter a qualidade e prolongar a vida útil dos produtos hortícolas (BLANKENSHIP; DOLE, 2003), no entanto, apesar dos benefícios do uso dessa ferramenta tecnológica em frutos climatéricos como mamões (FABI et al., 2007; JACOMINO et al., 2002), maçã (WATKINS; NOCK, 2012; YANG et al., 2013), abacate (ADKINS et al., 2005), tomates (ZHANG; HUBER; RAO 2010), dentre outros, a aplicação do inibidor pode comprometer o amadurecimento comprometido e diminuição na produção de compostos voláteis responsáveis pelo aroma.

Em melões, os eventos relacionados a formação de aroma são parcialmente dependentes do etileno e outros mecanismos estão envolvidos (FLORES et al., 2001). Para Blankenship e Dole (2003), a ação do 1-MCP nos compostos voláteis variou de acordo com o fruto e a variedade tratada, porém, de modo geral suprimiu a produção de compostos de aroma, principalmente álcoois.

A aplicação associada de 1-MCP e etileno pode solucionar problemas relacionados a falhas no amadurecimento, como ocorreu com Zhu et al. (2010) e Golding et al. (1998) em bananas e Chiriboga et al. (2011) em peras, os quais não observaram mais o comportamento sempre “verdes” de frutas tratadas apenas com 1-MCP. Bananas tratadas com etefon e 1-MCP simultaneamente atrasam a formação dos compostos voláteis em relação ao grupo controle, porém a quantidade de compostos voláteis não foi afetada drasticamente, especialmente, os ésteres (ZHU et al., 2015).

Dada a importância do aroma na aceitação dos frutos pelo consumidor e a crescente demanda do mercado em se entender a curta vida útil do mamão, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do etileno e do 1-MCP na composição dos compostos voláteis de mamões ‘Golden’.

4.2 Material e Métodos

Os frutos para avaliação dos compostos voláteis foram oriundos do mesmo experimento do capítulo 1, os quais foram provenientes de cultivos comerciais do sul da Bahia, no período de setembro de 2012 a dezembro de 2014. Os mamões foram colhidos no estágio 1 de

maturação, que corresponde a 15% de coloração amarela da epiderme e firmeza de polpa superior a 100 Newtons. Após a colheita, os frutos foram embalados e enviados à Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP-SP) em caminhão refrigerado ($\pm 13^{\circ}\text{C}$). Em seguida, foram transportados para Piracicaba em veículo com ar condicionado ($\pm 18^{\circ}\text{C}$) até o Laboratório de Pós-colheita e Produtos Hortícolas da ESALQ/USP, onde foram mantidos a $13^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 10\%$ UR.

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à ausência de injúrias e estágio de maturação. Em seguida, foram realizadas análises físicas, físico-químicas e fisiológicas em vinte frutos para a caracterização do lote experimental. Após essa caracterização, amostras desses frutos foram congeladas em nitrogênio líquido e mantidas em freezer -80°C para análises posteriores.

Posteriormente, os frutos foram submetidos a tratamentos com etileno e/ou 1-MCP aplicados simultaneamente ou em momentos distintos ainda no mesmo dia da caracterização do lote, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1-Tratamentos com etileno e 1-MCP em mamões ‘Golden’

	Concentração de etileno e tempo de exposição	Intervalo entre as aplicações	Concentração 1-de MCP e tempo de exposição	Sequência de aplicação
T1	---	---	---	---
T2	2,5 $\mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	---	---	---
T3	---	---	100 nL.L^{-1} 12 h	---
T4	2,5 $\mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	---	100 nL.L^{-1} 12 h	Simultâneo
T5	2,5 $\mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	12 h	100 nL.L^{-1} 12 h	Etileno + 1-MCP
T6	2,5 $\mu\text{L.L}^{-1}$ 12 h	--	100 nL.L^{-1} 12 h	Etileno + 1-MCP

A fonte de etileno foi o gás Azetil®, que contém 5% de etileno. Para aplicação de 1-MCP foi utilizado SmartFresh® (0,38% i.a.), no qual 30 mg do produto que representaram 100 nL.L^{-1} em 1 m^3 , foi colocado em frasco com tampa, onde foram adicionados 3 mL de água deionizada, seguida de agitação do frasco para completa dissociação do produto e, em seguida, o frasco foi aberto no interior da câmara para a liberação do produto. As aplicações de etileno e 1-MCP foram realizadas à temperatura de 25°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) em câmaras herméticas com capacidade de 186 L.

Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR até completo amadurecimento e analisados quanto aos compostos voláteis no segundo, sexto e oitavo dia de armazenamento. Porções da região mediana de dez frutos foram divididas em três repetições e, em seguida, foram congeladas com nitrogênio líquido e armazenadas em freezer -80°C até o momento da preparação das amostras.

A preparação das amostras de compostos voláteis foi realizada a partir da trituração de aproximadamente 3 g da polpa de mamão congelada acrescidas de 7 mL de NaCl a 30% (p/v) em vials de 30 mL e armazenados a temperatura de -20°C .

No momento da análise, o vial contendo a polpa em solução de NaCl foi descongelado a 40°C em banho-maria, sob agitação. Os compostos voláteis foram acumulados por 20 minutos na atmosfera livre dos vials e em seguida expostos a fibra de polidimetilsiloxano de 100 μm de espessura da marca Supelco® (CAR/DVB/PDMS) por 40 minutos a 40°C . Estes compostos foram isolados através da técnica de micro-extração em fase sólida (SPME), na qual a amostra foi dessorvida da fibra pela exposição ao calor do injetor do cromatógrafo (200°C) por 15 minutos e identificados por comparação dos espectros de massas obtidos com os dados da biblioteca NIST98, sendo considerados aqueles com índice de similaridade acima de 70%. Foi utilizado o cromatógrafo Hewlett-Packard, modelo 6890, acoplado a um detector de massas da mesma empresa modelo 5973. Uma coluna capilar de sílica fundida foi utilizada na separação dos compostos. O espectrômetro de massas operou em um modo de ionização por impacto de elétrons a 70 eV com fonte de íons mantida a 150°C , com faixa de varredura de 50 a 550 m/z. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística de componentes principais (PCA), através do software XLSTAT.

4.3 Resultados e Discussão

Mais de trezentas substâncias voláteis já foram identificadas em mamões, no entanto, poucas foram reconhecidas como contribuintes para o odor característico da fruta (PINO, 2014). Os principais compostos de aroma no mamão incluem terpenos, ésteres, aldeídos, álcoois, ácidos orgânicos e cetonas (FUGGATE et al., 2010). O monoterpreno linalool é o composto mais abundante (FLATH; FORREY, 1977) e constitui mais de 90% do total dos compostos voláteis em mamões do grupo 'Solo' (FRANCO; RODRIGUES-AMAYA, 1993). O composto isotiocianato de benzila também foi encontrado em grandes concentrações neste grupo de mamão (FLATH et al., 1990).

Em mamões da espécie *Vasconcellea pubescens*, provenientes do Chile e da Colômbia, Idstein, Keller e Schreirer, (1985); Morales e Duque (1987) identificaram que os ésteres foram os compostos majoritários no total de voláteis encontrados, assim como em mamões da cv. Red Maradol (PINO; ALMORA; MARBOT 2003).

Como a análise dos compostos voláteis foi realizada no segundo, sexto e oitavo dia de armazenamento, permitiu-se avaliar diferentes pontos do amadurecimento dos mamões e as possíveis influências dos tratamentos nesses dias.

Os cromatogramas de cada dia de análise revelaram grande número de compostos voláteis, uma parte destes compostos não contribui para o aroma do fruto por não possuírem notas aromáticas. Desta forma, foram identificados 20 compostos voláteis e suas respectivas descrições de odores estão sumarizadas na Tabela 2. A maior parte deles foi identificada em todos os dias analisados. Para os óxidos de linalool, foram utilizadas as denominações de óxidos de linalool 1 e 2, pois apesar de possuírem os isômeros cis e trans, não foi possível diferenciá-los através dos espectros de massas. Para tal, seria necessário o emprego de padrões de ambos os isômeros para identificar os tempos de retenção de cada forma dos óxidos de linalool. O clorofórmio foi identificado em todos os dias analisados, porém é um possível contaminante no fruto ou foi gerado durante a análise.

Tabela 2- Compostos voláteis em mamões ‘Golden’ submetidos durante o armazenamento a 22 ± 1 °C por 8 dias.

Compostos voláteis de aroma	Número CAS	Descrição do odor*
Linalool	000078-70-6	Floral, lavanda
Metil benzoate	000093-58-3	herbáceo, doce
Etil benzoate	000093-89-0	Camomila, floral, frutal
Isotiocianato de benzila	000622-78-6	Agrião, gordura
6-metil-5-hepten-2-ona	000110-93-0	Verde, maçã, banana
Geraniol	000106-24-1	Rosa, gerânio
Nerol	000106-25-2	Doce
Heptanoato de metila	000106-73-0	Frutal, fresco, doce
Nonanal	000124-19-6	Gordura, cítrico
Fenilacetoneitrila	000140-29-4	Apimentado, floral
Óxido de linalool 1	005989-33-3	Floral
Óxido de linalool 2	1000373-80-3	Floral
d-limoneno	005989-27-5	Citrus, frescor, limão
Decanal	000112-31-2	Sabão, laranja
Hotrienol	029957-43-5	Jacinto, fúngico
2-etil-1-hexanol	000104-76-7	Frutado, doce
Octanoato de metila	000111-11-5	Cera, verde, herbal
Clorofórmio	000067-66-3	Produto químico
Mesitileno	000108-67-8	Produto químico
Tolueno	000108-88-3	Solvente

*Fonte: <http://www.thegoodscentscompany.com/>

Foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de reduzir o número de variáveis e possibilitar a visualização das correlações existentes entre elas. Neste caso, as amostras foram tratadas como observações e os compostos voláteis constituíram-se as variáveis, representados em forma de vetores em plano bidimensional.

A decomposição de cada vetor indica o quanto aquela substância é significativa para a diferenciação das amostras. Vetores com maior decomposição sobre o eixo (maior distância em relação ao centro) indicam que aquela variável é mais significativa, sendo o contrário verdadeiro. Cada variável decompõem-se nos dois componentes, com maior decomposição naquele que detém mais informação sobre ela.

As Figuras 2A e 2B mostram os resultados das PCAs no segundo dia de armazenamento. Dentre as correlações possíveis foram selecionados dois componentes, fatores 1 e 2, que juntos explicam a maior variabilidade existente entre as amostras, 57,72%.

Figura 2 - Análise de componentes principais (PCA) obtidos a partir de áreas normalizadas dos compostos voláteis identificados em mamões ‘Golden’ tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante dois dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

De acordo com os resultados das PCAs foi possível separar as amostras em dois grupos. Houve um agrupamento à esquerda, composto pelos frutos controle (T1), tratados somente com etileno (T2) e tratados com etileno + 1-MCP simultaneamente (T4); e um agrupamento à direita, constituído pelos demais tratamentos. Essa distribuição no gráfico refletiu a maior influência dos compostos linalool e óxidos de linalool 1 e 2, que estão localizados nos quadrantes a esquerda do plano bidimensional sobre os tratamentos 1, 2 e 4. Esse fato é confirmado principalmente pelas Figuras 3C e 3D, onde mostram que as concentrações dos óxidos de linalool foram mais elevadas nestes tratamentos.

Por outro lado, os frutos tratados apenas com 1-MCP (T3) e 1-MCP imediatamente após a exposição ao etileno (T6) sofreram forte influência dos compostos isotiocianado de benzila, fenilacetronitrila e nonanal, ficando próximos entre si no plano bidimensional. As amostras provenientes de mamões tratados com 1-MCP 12 horas após a exposição ao etileno (T5) apresentaram-se mais separadas daquelas dos tratamentos T3 e T4 devido às menores concentrações dos compostos anteriormente citados e a identificação dos compostos geraniol, metil benzoato, metil heptanoato apenas neste tratamento (T5) ou em maiores concentrações conforme a decomposição do vetor.

O linalool, proveniente da via dos terpenóides, foi o composto volátil majoritário nas amostras de todos os tratamentos, seguido pelo isotiocianato de benzila. (Figuras 3A e 3B). Esses compostos apresentam grande influência na formação do aroma de mamões do grupo 'Solo' e são bem documentados na literatura (FLATH; FORREY, 1977; FLATH et al., 1990; PINO, 2014).

Em frutos tratados somente com etileno foram identificadas maiores concentrações de linalool e dos óxidos de linalool em relação aos demais tratamentos, sugerindo ser consequência do tratamento. Por outro lado, menores concentrações foram identificadas em frutos tratados com 1-MCP isoladamente e 1-MCP aplicado imediatamente após o etileno (Figuras 3A, 3C e 3D).

É importante ressaltar que frutos tratados somente com 1-MCP (T3), etileno + 1-MCP simultaneamente (T4) e 1-MCP aplicado 12 horas após exposição (T5) apresentaram concentrações de linalool similares e até superiores (T5) do que os frutos controle, sugerindo que o bloqueador não inibiu a síntese desse composto (Figura 3A). Por outro lado, os óxidos de linalool foram afetados por tratamentos que receberam 1-MCP, exceto em frutos tratados com etileno e 1-MCP simultaneamente, pois estes apresentaram valores destes compostos similares aos frutos controle (Figuras 3C e 3D).

Figura 3- Perfil comparativo da área normalizada dos compostos voláteis linalool (A), isotiocianato de benzila (B), óxido de linalool 1 (C), óxido de linalool 2 (D), felinacetoneitrila (E) e 2-etil-1-hexanol (F) em mamões 'Golden' tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante dois dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

O linalool, juntamente com seus óxidos são chamados de compostos de impacto do aroma de mamão, pois são eles que dão as notas mais características do odor da fruta. Os demais compostos contribuem com nuances do aroma.

O isotiocianato de benzila também esteve presente em altas concentrações neste dia, principalmente em frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno. Os tratamentos T3 e T6 apresentaram maiores concentrações deste composto em relação aos demais tratamentos, provavelmente por estarem mais verdes neste dia (Figura 3B)

A presença de isotiocianato de benzila também foi previamente reportada por Ulrick e Wijawa (2010), Flath e Forrey (1977), MacLeaod e Pieris (1983), Flath (1990), Pino, Almora e Marbot, (2003) e Fuggate et al. (2010). De acordo com Tang (1971) esse é um composto volátil típico de mamão verde e que tem função de proteção do fruto nos estádios iniciais e sua concentração vai diminuindo no decorrer do amadurecimento.

O composto fenilacetronitrila (Figura 3E) foi identificado em amostras dos tratamentos T1, T3, T5 e T6, com maiores concentrações em frutos mais verdes (T3 e T6). Esse composto é sintetizado pela degradação de aminoácidos e foi reportado por MacLeaod e Pieris (1983) e Ulrich e Wijawa (2010).

Ainda no segundo dia de análise foram encontrados álcoois e aldeídos que são frutos da degradação oxidativa dos ácidos linoléico e linolênico (BALDWIN et al., 2000). Após a ação da enzima lipoxigenase (LOX), os ácidos hidroperoxilinelênicos, resultantes deste processo, passam por clivagem pela hidroperóxido liase, resultando em vários produtos que incluem o 2-etil-1-hexanol e nonanal, por exemplo. (ROWAN et al., 1999). Esses compostos são importantes como substratos de ésteres e foram persistentes em todos os dias avaliados.

Os ésteres metil benzoato metil heptanoato foram identificados em frutos dos tratamentos 5 e 6. O metil benzoato é um éster sintetizado a partir do ácido benzóico e descrito como um importante composto na caracterização do odor de mamões (MAC LEAOD; PIERIS, 1983). Esse composto tem por função atrair insetos polinizadores (SCHWAB; RIKANATI; LEWINSOHN, 2008).

As metilcetonas de cadeia curta (C5-C11) são compostos de aroma encontrados com frequência no Reino Vegetal e dotados de alto poder odorífero, como a 6-metil-5-hepten-2-ona identificada nos três dias avaliados e em todos os tratamentos.

De acordo com os resultados da PCA pode-se inferir que o uso de 1-MCP, associado ou não ao etileno não inibiu a síntese de compostos de linalool, no entanto, a produção dos óxidos de linalool 1 e 2 foram reduzidas pelo uso do inibidor, mesmo que associado ao

etileno. Por outro lado a aplicação isolada de etileno estimulou a produção de compostos característicos do mamão ‘Golden’.

É bem aceito que o etileno desempenha importante papel durante o amadurecimento de frutos climatéricos, iniciando e coordenando diversos processos, tais como o desenvolvimento de cor, amolecimento e formação de aroma. O tratamento com etileno em frutas climatéricas induz a produção de etileno e também a produção de compostos voláteis (MIR et al., 1999; FELLMAN et al., 2000). No entanto, a viabilidade de linhas de frutos transgênicas etileno-suprimidas tem mostrado que alguns eventos do amadurecimento são dependentes, independentes de etileno ou a mistura de ambos, como em melões (FLORES et al., 2001).

Adicionalmente, sabe-se que nem sempre o etileno é requerido em todos os passos da produção de voláteis em plantas e que alguns grupos químicos podem ter diferentes respostas ao etileno (FLORES et al., 2002; DEFILIPPI; DANDEKAR; KADER., 2005; ZHU et al., 2005; SCHAFFER et al., 2007), assim como ocorreu com os compostos de impacto no aroma do mamão na presente pesquisa.

De acordo com as Figuras 4A e 4B, no sexto dia de armazenamento os fatores 1 e 2 da PCA explicaram a maior variabilidade existente entre as amostras, 46,30%.

Figura 4 - Análise de componentes principais (PCA) obtidos a partir de áreas normalizadas dos compostos voláteis identificados em mamões ‘Golden’ tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante seis dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

Assim como no segundo dia houve foi possível separar as amostras em dois grupos. Os frutos controle (T1) e aqueles tratados com etileno (T2) apresentavam mais semelhanças entre si e agruparam-se do lado direito do plano bidimensional e os frutos tratados com 1-

MCP, associados ou não ao etileno, foram agrupados do lado esquerdo, ou seja, o fator 1 na PCA indica a separação dos grupos tratados com 1-MCP.

As substâncias voláteis de frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno, distribuíram-se nos quadrantes do lado esquerdo do plano bidimensional e foram caracterizados principalmente pelo conjunto dos seguintes compostos: isotiocinato de benzila, 2-etil-1-hexanol, 6-metil-5-hepten-2-ona, nonanal, metil e etil benzoato e geraniol.

O linalool também foi o composto majoritário e foi identificado em maiores concentrações neste dia do que em frutos analisados no segundo dia, provavelmente, devido ao maior grau de amadurecimento destes. Os frutos tratados com etileno tiveram as maiores concentrações de linalool, seguidos dos frutos tratados com 1-MCP, associado ou não ao etileno, e por fim os frutos controle (Figura 5A).

Os óxidos de linalool 1 e 2 também apresentaram valores mais elevados em relação ao dia 2. As concentrações dos óxidos de linalool 1 foram mais significativas em frutos do grupo controle (T1) e tratados somente com etileno (T2), por outro lado, para o óxido de linalool 2, o grupo controle assumiu as menores concentrações desse composto (Figuras 5C e 5D).

A fenilacetoneitrila que não foi identificada em amostras de frutos tratados com etileno no segundo dia foi encontrada no sexto dia de armazenamento em maior concentração do que os demais tratamentos. Por outro lado, amostras tratadas com 1-MCP, que continham fenilacetoneitrila no segundo dia, não apresentaram a substância no sexto dia (Figura 5E).

Na Figura 5B observa-se que as concentrações de isotiocinato de benzila foram menores neste dia em relação ao segundo dia, em decorrência destes frutos estarem mais maduros e os frutos tratados apenas com 1-MCP detiveram as maiores concentrações desta substância.

Figura 5 - Perfil comparativo da área normalizada dos compostos linalool (A), isotiocianato de benzila (B), óxido de linalool 1 (C), óxido de linalool 2 (D), fenilacetoneitrila (E) e metil benzoato (F) em mamões ‘Golden’ tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante seis dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

Além do linalool, outros monoterpenos foram encontrados no sexto dia de armazenamento, como o nerol, geraniol e d-limoneno provenientes do metabolismo de carboidratos.

No 6º dia, o uso do 1-MCP, associado ou não ao etileno, não inibiu a síntese de linalool e do óxido de linalool 2. Além disso, a síntese desses dois compostos foi estimulada pela aplicação de etileno.

Ainda neste dia, a concentração dos ésteres variou de acordo com o tratamento. O metil benzoato não foi identificado em frutos controle e tratados apenas com etileno. Por outro lado, o metil octanoato só esteve presente em frutos tratados com etileno, confirmando o efeito diferencial do etileno em algumas classes de compostos químicos (Figura 5E).

Muitos dos ésteres encontrados nos mamões ‘Golden’ desta pesquisa, como os ésteres metílicos e etílicos também são fortes contribuintes para o aroma de frutas tropicais e subtropicais (FLATH; FORREY, 1977). Em mamões, cv. Red Maradol e da espécie *Vasconcellea pubescens*, os ésteres são os principais constituintes do odor. Alguns estudos mostram que o 1-MCP causou decréscimo na produção de compostos voláteis, particularmente os ésteres foram bastante afetados (ABDI et al., 1998; GOLDING et al., 1998; FAN; MATTHEIS, 1999; LURIE et al., 2002). Para Balbortín et al. (2007) em mamões *Vasconcellea pubescens*, o uso do 1-MCP inibiu a produção de ésteres, porém o tratamento com etrel não causou incremento na composição volátil dos mamões.

O 1-MCP não afetou a produção de compostos voláteis em damascos (VALDES et al., 2009), apresentou pouco efeito em mandarins (HERRERA et al., 2007) e causou forte redução dos sesquiterpenos em peras (LI et al., 2016) e maçãs (PECHOUS et al., 2005).

Para Zhu et al. (2015), o tratamento composto pela associação entre etefon e 1-MCP foi considerado melhor em relação ao tratamento apenas com 1-MCP, pois atrasou o amadurecimento e manteve a qualidade dos frutos, sem comprometer as mudanças ocorridas durante o amadurecimento, como ocorreu em frutos tratados apenas com 1-MCP. Este tratamento também atrasou a formação de compostos voláteis, mas não afetou prejudicialmente a quantidade de voláteis, especialmente os ésteres.

No oitavo dia, obteve-se na PCA 50,98% de variância acumulada na soma dos componentes principais 1 e 2 (Figuras 6A e 6B).

Figura 6 - Análise de componentes principais (PCA) obtidos a partir de áreas normalizadas dos compostos voláteis identificados em mamões ‘Golden’ tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante oito dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

Neste dia, amostras dos frutos controle e aquelas tratadas com etileno foram caracterizadas principalmente pelos óxidos de linalool 1 e 2, os quais apresentaram as

concentrações mais elevadas em relação aos demais tratamentos (Figuras 7C e 7D), além do éster metil heptanoato de acordo com a decomposição do vetor.

As concentrações de linalool e dos óxidos de linalool foram maiores em frutos controle e naqueles tratados apenas com etileno, ao passo que, os níveis de isotiocianato de benzila apresentaram-se em maior quantidade em frutos tratados com 1-MCP isoladamente, embora as concentrações dessa substância fossem baixas em relação aos dias anteriores (Figuras 7A e 7B).

Assim como nos dias anteriores, foram identificados compostos como o 2-etil-1-hexanol, nonanal, que são substratos para a formação dos ésteres e a metil cetona 6-metil-5-hepten-2-ona, os quais são responsáveis por alto poder odorífero. Aldeídos são conhecidos por transmitir notas verdes para o aroma total do fruto (NICOLAS et al.; 2009). No presente estudo, o nonanal foi identificado em todos os dias e tratamentos avaliados e observou-se que em frutos mais maduros (oitavo dia) as concentrações destes compostos foram menores. Esse tipo de aldeído é proveniente da quebra de ácidos graxos insaturados através das enzimas lipoxigenases (CHEN et al., 2004).

Os ésteres encontraram-se dispersos entre os quadrantes. O etil benzoato foi identificado em quase todos os tratamentos, com concentração mais alta no T5. Não foi identificado metil benzoato nos tratamentos 1, 2 e 6. O metil heptanoato esteve em concentrações mais altas nos tratamentos 1 e 2. Esses ésteres também foram encontrados em mamões 'Pluk Mai Lie' por Fuggate et al. (2010).

Para este dia 8, o uso do 1-MCP, associado ou não ao etileno, afetou a síntese dos compostos de impacto de mamões 'Golden', visto que as amostras deste grupo apresentaram menores concentrações de linalool e dos seus óxidos em relação aos frutos não tratados. Adicionalmente, o etileno também não estimulou a síntese desses compostos nos frutos (Figuras 7A, 7C e 7D).

Figura 7 - Perfil comparativo da área normalizada dos compostos linalool (A), isotiocianato de benzila (B), óxido de linalool 1 (C), óxido de linalool 2 (D), fenilacetnitrila (E) e 2-etil-1-hexanol (F) em mamões ‘Golden’ tratados com etileno e 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante oito dias. T1: controle, T2: etileno, T3: 1-MCP, T4: etileno+1-MCP (simultâneo), T5: etileno + 12h + 1-MCP e T6: etileno + 1-MCP (sem intervalo). n=10

Pereira et al. (2013) observaram que não houve diferença na concentração total de compostos voláteis em frutos tratados ou não com 1-MCP. Por outro lado, para Li et al. (2016), apesar do aumento na concentração de compostos voláteis no decorrer do amadurecimento de peras 'Ruanerli' tratadas com 1-MCP, estas concentrações foram inferiores aos frutos não tratados.

De acordo com Golding et al. (1998), o tratamento com 1-MCP retardou e suprimiu significativamente o início da produção de compostos voláteis. A síntese desses compostos sempre começou após o início da produção autocatalítica de etileno e o tratamento contínuo de propileno não afetou esta relação. Adicionalmente, esses autores observaram altas concentrações de etileno no fim do período de armazenamento de frutos tratados com 1-MCP, mas que não estavam relacionadas com maior biossíntese de compostos voláteis. Isto sugere que, embora o início da produção total de voláteis seja dependente do aumento autocatalítico do etileno, a taxa máxima de produção não está diretamente relacionada com os níveis de etileno.

O linalool e seus óxidos aparentemente sofreram menos interferência dos tratamentos com 1-MCP, associados ou não com etileno, até o 6º dia. Assim, dado que o linalool e seus óxidos são os compostos de impacto do aroma de mamão do grupo Solo, é possível afirmar que estes tratamentos afetaram pouco a base do aroma desta fruta. Por outro lado, no 8º dia a síntese desses compostos foi afetada pelo uso do 1-MCP, mesmo associado ao etileno.

Os demais compostos que contribuem com as nuances no aroma variaram nestes três dias avaliados, como por exemplo, os ésteres que foram identificados em alguns momentos apenas em frutos tratados com 1-MCP, com ou sem etileno e, em outro momento, identificados apenas em frutos tratados apenas com etileno.

Assim, é possível que os tratamentos com 1-MCP, associado ou não ao etileno, preservem o aroma principal, mas afetam as nuances do aroma. Isso pode ter um efeito positivo ou negativo. Positivo se a diminuição de um composto levar a uma melhor percepção dos compostos de impacto ou negativo se a perda da nota de um composto que foi diminuído leva a uma diminuição da percepção do aroma ou mesmo a uma percepção desagradável.

4.4 Conclusões

- Foram identificados vinte compostos voláteis em mamões 'Golden', tendo o linalool como composto majoritário, seguido pelo isotiocianato de benzila e pelos óxidos de

linalool 1 e 2 que foram identificados em todos os dias avaliados, independente do tratamento utilizado.

- O 1-MCP afetou o aroma dos frutos e estes não recuperaram o aroma no mesmo teor dos frutos sem tratamento até o oitavo dia de armazenamento.
- Os tratamentos com 1-MCP, associado ou não ao etileno afetaram mais os compostos presentes em menor quantidade, responsáveis por nuances de aroma, mas não afetaram prejudicialmente os compostos de impacto que formam a base do aroma.
- O tratamento com etileno estimulou a síntese dos compostos de impacto do aroma de mamões 'Golden' até o sexto dia de armazenamento.

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**, Richmond, v. 14, p. 29-39, 1998.

ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT JR, M.E. **Ethylene in plant biology**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1992. 414 p.

ADKINS, M.F.; HOFMAN, P.J.; STUBBINGS, B.A.; MACNISH, A.J. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.35, p.33–42, 2005.

AHARONI, A.; GIRI, A.P.; DEUERLEIN, S. Terpenoid metabolism in wild-type and transgenic Arabidopsis plants. **The Plant Cell**, Georgia, v.15, p. 2866-2884, 2003.

ARAÚJO FILHO, G.C.; PAZ, J. S.; CASTRO, F. A.; SEABRA FILHO, M. **Produtor de mamão**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2002. 72p.

ARVANITOYANNIS, I.S.; MAVROMATIS, A. Banana cultivars, cultivation practices, and physicochemical properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v.49, n.2, p.113-135, 2009.

BALBONTIN, C.; GAETE-EASTMAN, C.; VERGARA, M.; HERRERA, R.; MOYALEON, M.A. Treatment with 1-MCP and the role of ethylene in aroma development of mountain papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Talca, v. 43, p. 67-77, 2007.

BALDWIN, E.S.; SCOTT, J.W.; SHEWMARKER, C.K.; SCHUCH, W. Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. **HortScience**, Alexandria, v. 35, p. 1013–1022, 2000.

BARI, L.P.; HASSEN, N.; ABSAR, M.E.; HAQUE, M.I.I.E.; KHUDA, M.M.; PERVIN, S.; KHATUN, M.I. Nutritional analysis of two varieties of papaya (*Carica papaya*) at different maturation stages. **Pakistan Journal Biological Science**, Cairo, v. 9, p. 137-140, 2006.

BARRY, C.S.; GIOVANNONI, J.J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 26, p. 143-159, 2007.

BERNREUTHER, A.; SCHREIER, P. Multidimensional gas chromatography/mass spectrometry: a powerful tool for the direct chiral evaluation of aroma compounds in plant tissues. Part 2. Linalool in essential oils and fruits. **Phytochemistry Analysis**, Wageningen, v. 2, p. 167-170, 1991.

BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Raleigh, v. 28, p. 1-25, 2003.

BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M. Matéria-prima. In: MEDINA, J.C. **Mamão: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1995. cap. 7, p. 179-254. (Frutas Tropicais, n°2).

BRUCKNER, B. **Fruit and vegetable flavour: recent advances and future prospects**. Abington Hall; Cambridge: Woodhead Publ., 2008. 336p.

CHEN, G.; HACKETT, R.; WALKER, D.; TAYLOR, A.; LIN, Z.; GRIERSON, D. Identification of a specific isoform of tomato lipoxygenase (TomloxC) involved in the generation of fatty acid-derived flavor compounds. **Plant Physiology**, Beltsville, v. 136, p. 2641-2651, 2004.

CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; DUPILLE, E.; RECASENS, I. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated 'Conference' pears. **Journal of Science and Food Agriculture**, New York, v. 10, n. 15, p. 1781-1788, 2011.

COSTA, A.F.S.; PACOVA, B.E.V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. **A cultura do mamão: tecnologia e produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 59-102.

DEFILIPPI, B.G.; DANDEKAR, A.M.; KADER, A.A. Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and flesh tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Paris, v. 53, p. 3133-3141, 2005.

FABI, J.P.; CORDENUNSI, B.R.; BARRETO, G.P.M.; MERCADANTE, A.Z.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O. Papaya fruit ripening: response to ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Paris, v. 55, p. 6118-6123, 2007.

FAN, X.; MATTHEIS, J.P. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Georgia, v. 47, p. 2847-2853, 1999.

FELLMAN, J.K.; MILLER, T.W.; MATTISON, D.S.; MATTHEIS, J.P. Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. **HortScience**, Alexandria, v. 35, p.1026–1033, 2000.

FLATH, R.A.; FORREY, R.R. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L. Solo variety). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, New York, v.25, p. 103-109, 1977.

FLATH, R.A.; LIGHT, D.M.; JANG, E.B.; MON, T.R.; JOHN, J. O headspace examination of volatile emissions from ripening papaya (*Carica papaya* L., Solo variety). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, New York, v. 38, p. 1060-1063, 1990.

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 pathways in Cantaloupe melons. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 113, p. 128-133, 2001.

FLORES, F.; YAHYAOU, F.E.; BILLERBECK, G.; ROMOJARO, F.; LATCHÉ, A.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C.; AMBID, C. Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p. 201–206, 2002.

FRANCO, M.R.B.; RODRIGUES-AMAYA, D.B. Volatile components of two papaya cultivars. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 36, p. 613-632, 1993.

FUGGATE, P.; WONGS-AREE, C.; NOICHINDA, S.; KANLAYANARAT, S. Quality and volatile attributes of attached and detached 'Pluk Mai Lie' papaya during fruit ripening. **Scientia Horticulturae**, Gainesville, v.126, p.120–129, 2010.

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**, Hawkesbury, v. 14, p. 87-98, 1998.

GUICHARD, E.; SCHLICH, P.; ISSANCHOU, S. Composition of apricot aroma: correlations between sensory and instrumental data. **Journal of Food Science**, Bethesda, v. 55, p. 735–738, 1990.

HERRERA, A.; RODRIGO, M.J.; GIL, J.; ZACARÍAS, L. Ethylene stimulates emission of terpenoids and aliphatic esters in citrus fruits. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE PLANT HORMONE ETHYLENE, 7., 2007, Dordrecht. **Advances in plant ethylene research: proceedings...** Dordrecht: Springer, 2007. p. 257–259.

HUBER, D.J. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v.43, p. 106–111, 2008.

IDSTEIN, H.; KELLER, T.; SCHREIER, P. Volatile constituents of mountain papaya (*Carica candamarcensis*, syn. *C. pubescens* Lenne et Koch) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 33, p. 666–672, 1985.

JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P.R.C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

LALEL, J.D.; SINGH, Z.; TAN, S.C. The role of ethylene in mango fruit aroma volatiles biosynthesis. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Lille, v. 78, p. 485–496, 2003.

LARA, I.; MIRÓ, R.; FUENTES, T.; SAYEZ, G.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M. Biosynthesis of volatile aroma compounds in pear fruit stored under long-term controlled-atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Honolulu, v. 29, p. 29–39, 2003.

LI, F.; ZHANG, X.; SONG, B.; LI, J.; SHANG, Z.; GUAN, J. Combined effects of 1-MCP and MAP on the fruit quality of pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd cv Laiyang) during cold storage. **Scientia Horticulturae**, Columbus, v. 164, p. 544–551, 2013.

LI, G.; JI, H.; LI, J.; LI, H.; TENGA, Y. Effects of 1-MCP on volatile production and transcription of ester biosynthesis related genes under cold storage in ‘Ruanerli’ pear fruit (*Pyrus ussuriensis* Maxim.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 111, p. 168–174, 2016.

LURIE, S.; PRE-AYMARD, C.; RAVID, U.; LARKOV, O.; FALLIK, E. Effect of 1-methylcyclopropene on volatile emission and aroma in cv. Anna apples. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Georgia, v. 50, p. 4251–4256, 2002.

MACLEOD, A.J.; PIERIS, N.M. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L.) with particular reference to glucosinolate products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, London, v. 31, p. 1005–1008, 1983.

MANEONI, A.; BAYOGAN, E.R.; THUMDEE, S.; PAULL, R.E. Utility of 1-methylcyclopropene as a postharvest treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Honolulu, v. 44, p. 55-62, 2007.

MIR, N.A.; PEREZ, R.; SCHWALLIER, P.; BEAUDRY, R. Relationship between ethylene response manipulation and volatile production in Jonagold variety apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Georgia, v. 47, p. 2653–2659, 1999.

MORALES, A.L.; DUQUE, C. Aroma constituents of the fruit of the mountain papaya (*Carica pubescens*) from Colombia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 35, p. 538–540, 1987.

NICOLAS, J.M.L.; SEVILLA, A.J.A.; BARRACHINA, A.A.C.; CARMONA, F.G. Effects of addition of α -cyclodextrin on the sensory quality, volatile compounds, and color parameter of fresh pear juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Georgia, v. 57, p. 9668–9675, 2009.

PATIL, V.K.; CHAKRAWAR, V.R.; NARWADKAR, P.R.; SHINDE, G. Fruit juice processing industry. In: SALUNKHE, D.K.; KADAM, S.S. (Ed.). **Handbook of fruit science and technology**: production, composition, storage and processing. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 7-38.

- PECHOUS, S.W.; WATKINS, C.B.; WHITAKER, B.D. Expression of farnesene synthase gene ASF1 in relation to levels of α -farnesene and conjugated trienols in peel tissue of scald-susceptible 'Law Rome' and scald-resistant 'Idared' apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Honolulu, v. 35, p.125–132, 2005.
- PEREIRA, M.E.C.; TIEMAN, D.M.; SARGENT, S.A.; KLEE, H.J.; HUBER, D.J. Volatile profiles of ripening West Indian and Guatemalan-West Indian avocado cultivars as affected by aqueous 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.80, p.37–46, 2013.
- PÉREZ, A.G.; CERT, A.; RÍOS, J.J.; OLÍAS, J.M. Free and glycosidically bound volatile compounds from two banana cultivars: Valery and Pequeña Enana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Georgia, v. 45, p. 4393–4397, 1997.
- PINO, J.A. Odour-active compounds in papaya fruit cv. Red Maradol. **Food Chemistry**, Washington, v. 146, p. 120–126, 2014.
- PINO, J.A.; ALMORA, K.; MARBOT, R. Volatile components of papaya (*Carica papaya* L., Maradol variety) fruit. **Flavour and Fragrance Journal**, Paris, v. 18, p. 492–496, 2003.
- ROWAN, D.D.; ALLEN, J.M.; FIELDER, S.; HUNT, M.B. Biosynthesis of straight-chain ester volatiles in Red Delicious and Granny Smith apples using deuterium-labeled precursors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Georgia, v. 47, p. 2553–2562, 1999.
- SCHAFFER, R.J.; FRIEL, E.N.; SOULEYRE, E.J.F.; BOLITHO, K.; THODEY, K.; LEDGER, S.; BOWEN, J.H.; MA, J.H.; NAIN, B.; COHEN, D.; GLEAVE, A.P.; CROWHURST, R.N.; JANSSEN, B.J.; YAO, J.-L.; NEWCOMB, R.D. A genomics approach reveals that aroma production in apple is controlled by ethylene predominantly at the final step in each biosynthetic pathway. **Plant Physiology**, Rockville, v.144, p.1899–1912, 2007.
- SCHWAB, W.; RIKANATI, D.R.; LEWINSOHN, E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. **The Plant Journal**, Davis, v.54, p. 712–732, 2008.
- SHINAGAWA, F.B. **Avaliação das características bioquímicas da polpa de mamão (*Carica papaya* L.) processada por alta pressão hidrostática**. 2009. 133 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- TANG, C.S. Benzyl isothiocyanate of papaya fruit, **Phytochemistry**, Moscow, v. 10, p. 117–119, 1971.
- TRESSL, R.; DRAWERT, F. Biogenesis of banana volatiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v.21, n.4, p. 560–565, 1973.
- ULRICH, D.; WIJAYA, C.H. Volatile patterns of different papaya (*Carica papaya* L.) varieties. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Toulouse, v.83, p.128–132, 2010.
- VALDÉS, H.; PIZARRO, M.; CAMPOS-VARGAS, R.; INFANTE, R.; DEFILIPPI, B.G. Effect of ethylene inhibitors on quality attributes of apricot cv. Modesto and Patterson during storage. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Santiago, v.69, p.134–144, 2009.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 69, p. 24–31, 2012.

WERKHOF, P.; GÜNTERT, M.; KRAMMER, G.; SOMMER, H.; KAULEN, J. Vacuumheadspace method in aroma research: flavor chemistry of yellow passion fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 46, p. 1076-1093, 1998.

YANG, X., SONG, J., CAMPBELL-PALMER, L., FILLMORE, S., ZHANG, Z. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.78, p.55–66, 2013.

ZHANG, Z.; HUBER, D.; RAO, J. Short-term hypoxic hypobarica transiently decreases internal ethylene levels and increases sensitivity of tomato fruit to subsequent 1-methylcyclopropene treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.56, p. 131–137, 2010.

ZHU, H.; LI, X.P.; YUAN, R.C.; CHEN, Y.F.; CHEN, W.X. Changes in volatile compounds and associated relationships with other ripening events in banana fruit. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Lille, v. 85, p. 283–288, 2010.

ZHU, H.L.; ZHU, B.Z.; FU, D.Q.; XIE, Y.H.; HAO, Y.L.; LUO, Y.B. Role of ethylene in the biosynthetic pathways of aroma volatiles in ripening fruit. Russ. **Journal of Plant Physiology**, Moscow, v.52, p.691–695, 2005.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 107, p. 23–32, 2015.

5 A CONCENTRAÇÃO ENDÓGENA DE ETILENO MODULA A SENSIBILIDADE DE MAMÕES 'GOLDEN' AO 1-METILCICLOPROPENO (1-MCP)

Resumo

O mamão é um fruto climatérico, cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente após a colheita. O tratamento com 1- metilciclopropeno (1-MCP) tem sido testado para ampliar sua vida útil, porém as respostas não são conclusivas. Abordagens recentes indicam que a concentração endógena de etileno dos frutos afeta a sensibilidade ao 1-MCP, o que poderia explicar diversos padrões de respostas dos frutos climatéricos a esse inibidor. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da concentração endógena de etileno de mamões 'Golden' na sensibilidade ao 1-MCP. Para isso, os frutos foram submetidos a tratamentos que visaram reduzir ou aumentar a concentração endógena de etileno, antes da aplicação de 1-MCP. Um grupo de frutos foi submetido à atmosfera contendo 2% de O₂ para reduzir a concentração endógena de etileno (CEE). Outro foi exposto a uma atmosfera contendo 2,5 µL L⁻¹ de etileno visando aumentar a CEE. Um terceiro grupo foi submetido à atmosfera ambiente. Ao final de 16 h de tratamento, metade dos frutos de cada grupo foi submetida à aplicação de 1-MCP na forma líquida e a outra metade imersa em água deionizada, totalizando seis tratamentos: ar + 1-MCP, hipoxia + 1-MCP, etileno + 1-MCP, controle (ar), hipoxia e etileno. Após os tratamentos os frutos foram armazenados em câmara de refrigeração a 22 ± 1°C até o completo amadurecimento. Foram realizadas análises de firmeza, coloração da casca e atividade da enzima poligalacturonase (PG) a cada dois dias. A concentração endógena de etileno, a produção de etileno e a atividade respiratória foram determinadas diariamente. O delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (tratamentos x dias de armazenamento) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados confirmam que a concentração endógena de etileno em mamões modula a sensibilidade ao 1-MCP. Em todos os parâmetros avaliados observou-se redução e /ou atraso no amadurecimento dos mamões provenientes do tratamento hipoxia + 1-MCP, indicando que baixas concentrações de oxigênio diminuem a concentração endógena de etileno e aumentam a sensibilidade ao bloqueador. Por outro lado, em frutos tratados com etileno houve aumento da concentração endógena de etileno e, consequentemente, a sensibilidade ao 1-MCP diminuiu. O tratamento de hipoxia sem associação com o 1-MCP apresentou efeito transitório nas variáveis analisadas.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Pós- colheita; Conservação; Biossíntese de etileno

Abstract

Papaya is a climacteric fruit, which after harvest, the transformations resulting from ripening occur quickly. Treatment with 1-methylcyclopropene (1-MCP) has been tested to extend the fruit shelf life, but without conclusive results. Recent approaches indicate that the endogenous ethylene concentration of fruit affects sensitivity to 1-MCP, which could explain different response patterns of climacteric fruit to that inhibitor. Thus, the aim of this study was to evaluate the influence of 'Golden' papayas endogenous ethylene concentration on sensitivity to 1-MCP. For this, the fruits were subjected to treatments designed to reduce or increase the endogenous ethylene concentration prior to the application of 1-MCP. A fruit group was subjected to atmosphere containing 2% O₂ to reduce the endogenous ethylene concentration (EEC). Another one was exposed to an atmosphere containing 2.5 µL L⁻¹ ethylene to increase the EEC. A third group was subjected to normal atmosphere. After 16

hours of treatment, half part of in each group fruit was subjected to the application of 1-MCP in liquid formula and the other part immersed in deionized water, a total of six treatments: air + 1-MCP, hypoxia + 1-MCP, ethylene + 1-MCP, control (air), hypoxia and ethylene. After the treatments the fruits were store in refrigerator at 22 ± 1 ° C to complete ripening. Firmness, skin color and the polygalacturonase (PG) enzyme activity analyzes were performed every day. Endogenous ethylene concentrations, ethylene production and respiration rate were measured daily. The statistical design was completely randomized in a factorial arrangement (treatment x days of storage) and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The results confirm that the endogenous ethylene concentration of papayas modulates the sensitivity to 1-MCP. In all parameters was observed decrease and / or delay the ripening of papayas from hypoxic treatment + 1-MCP, indicating that low oxygen concentrations decrease the endogenous ethylene concentration and increase the sensitivity to blocker. On the other hand, in fruit treated with ethylene, the endogenous ethylene concentration was increased and as a result decreased sensitivity to 1-MCP. Alone hypoxia had a transient effect on variables analyzed.

Keywords: *Carica papaya* L.; Postharvest; Conservation; Ethylene biosynthesis

5.1 Introdução

A cultura do mamoeiro é uma das mais importantes do mundo (ALI et al., 2011). O Brasil figura como o segundo maior produtor e responde com 12,6% da produção mundial (FAO, 2016). Apesar da sua produção se dar na maioria dos estados brasileiros, é na Bahia e no Espírito Santo que está concentrada. Estes estados juntos são responsáveis por 71% da produção brasileira (IBGE, 2015).

O mercado interno absorve grande parte desta produção, no entanto, observam-se perdas de cerca de 20% da produção, o que representa em valor, um desperdício de aproximadamente R\$ 250 milhões (IBGE, 2015).

O mamão é classificado como climatérico, pois o seu processo de amadurecimento continua após a sua retirada da planta, com acentuada atividade respiratória e produção de etileno em certo período que determina o climatérico (BRON; JACOMINO, 2006). Neste período ocorrem várias transformações bioquímicas, como mudanças da coloração da casca, da firmeza da polpa, síntese de compostos voláteis e de pigmentos, tornando-o desejável ao consumidor, no entanto, estas alterações ocorrem rapidamente e, conseqüentemente, o fruto apresenta curta vida útil.

Por ser muito sensível a danos mecânicos e apresentar curta vida útil, o transporte constitui um dos principais fatores que implicam em perdas significativas na cultura do mamão. O desenvolvimento e aplicação de técnicas que prolonguem seu período de comercialização são necessários para a prevenção e minimização dessas perdas.

Uma abordagem para o aumento da vida de prateleira de frutos climatéricos baseia-se na inibição dos efeitos do etileno, bloqueando quimicamente seus receptores celulares. Nesta classe de inibidores, inclui o 1-MCP que tem sido extensivamente estudado devido ao seu uso comercial aprovado, facilidade de aplicação e elevada eficácia em grande número de culturas (BLANKSHIP; DOLE, 2003).

O aumento da produção de etileno, na concentração endógena de etileno (CEE) e os eventos relacionados ao amadurecimento controlados pelo etileno em frutos climatéricos são inibidos ou atrasados com a aplicação de 1-MCP (WATKINS, 2006).

Apesar dos benefícios trazidos pelo uso do 1-MCP em frutos climatéricos, existem alguns fatores que afetam a sensibilidade dos frutos a esse inibidor da ação de etileno e que variam para cada espécie. Estudos envolvendo esses fatores são essenciais para o estabelecimento de protocolos de aplicação do 1-MCP, levando em consideração a fisiologia de cada espécie.

Em mamões, alguns fatores alteram a sensibilidade ao 1-MCP, como o intervalo entre a colheita e a aplicação do inibidor (JACOMINO et al., 2007), a quantidade de frutos na câmara de tratamento (JACOMINO et al., 2012), estágio de maturação dos frutos (SOUZA et al., 2009; BRON; JACOMINO, 2006) e fatores pré-colheita (GODOY et al., 2010).

Pesquisas apontam que concentrações endógenas de etileno afetam a sensibilidade dos frutos climatéricos ao 1-MCP, como observados por Kapotis et al. (2004), Adkins et al. (2005), Hayama, Ito e Kashimura (2005), Zhang et al. (2009), Zang, Huber e Rao (2011) e Dong et al. (2013), dentre outros. Isso explica o fato de que, apesar dos frutos climatéricos possuírem transformações bioquímicas semelhantes durante o amadurecimento, eles apresentam distintos padrões de resposta ao 1-MCP, os quais dependem da concentração endógena de etileno que cada fruto possui.

Como exemplo desses distintos padrões de resposta ao 1-MCP, observou-se o caso do abacate, que possui alta CEE ($70-500 \mu\text{LL}^{-1}$) (BURG; BURG, 1962; METZIDAKIS; SFAKIOTAKIS, 1995) e após o início do amadurecimento torna-se insensível ao 1-MCP (ADKINS et al., 2005). Por outro lado, o tomate, que apresenta baixa CEE (máxima $10 \mu\text{LL}^{-1}$) (SALTVEIT JUNIOR, 1993; KAPOTIS et al., 2004; ZHANG; HUBER; RAO, 2010), mantém-se sensível ao 1-MCP mesmo após o início do amadurecimento.

Estudos conduzidos por Zhang et al. (2009) verificaram que o uso de altas doses de 1-MCP gasoso ($500 \eta\text{LL}^{-1}$) na supressão do amadurecimento de tomates foi diminuída quando aplicado em associação com $100 \mu\text{L}^{-1}$ de etileno. O uso do etileno elevou a CEE destes frutos e diminuiu a sensibilidade ao 1-MCP.

A concentração de 500 ηLL^{-1} de 1-MCP aplicada em abacates (*Persea Americana* Mill) no estádio pré climatérico (baixa CEE) causou atraso no amadurecimento, no entanto, quando aplicado sobre essa fruta próximo ao climatérico (alta CEE) não houve interferência no amadurecimento (ADKINS et al., 2005; ZHANG; HUBER; RAO, 2011).

Zhang, Huber e Rao (2010) e Donget al.(2013) verificaram que a sensibilidade ao 1-MCP foi fortemente influenciada por tratamentos que alteraram a CEE. Tratamentos que reduziram essa concentração, como o uso de hipoxia hipobárica, seguidos pela aplicação de 1-MCP retardaram o amadurecimento dos frutos em relação àqueles tratados sob condições de atmosfera normal. Esses autores ainda sugeriram que o uso de tratamentos que apenas modificam a CEE, sem a posterior aplicação do 1-MCP, causa apenas retardo momentâneo no amadurecimento dos frutos, até que estes recuperem a concentração normal de etileno endógeno e retomem o amadurecimento.

Diferentes respostas ao 1-MCP também são encontradas dentro da mesma espécie, como em maçã, por exemplo. Estudos propostos por (WATKINS et al., 2000; WATKINS; NOCK, 2005; DEELL; AYRES; MURR, 2008; JOHNSON, 2008) evidenciam essas diferenças.

Reduções temporárias na CEE, via hipoxia ou outras técnicas, podem expandir a tecnologia 1-MCP aos frutos que mostram insensibilidade ao 1-MCP quando aplicado após o início do amadurecimento (ZHANG; HUBER; RAO, 2010). Por analogia, o aumento na CEE diminui a sensibilidade dos frutos ao 1-MCP e os frutos amadurecem rapidamente. Vários trabalhos apontam para esta relação, em que frutos com estádio de amadurecimento mais adiantado, portanto, maior CEE, apresentaram o efeito do 1-MCP diminuído conforme Adkins et al. (2005) e Zhang et al.(2009).

Não existem relatos na literatura a respeito de tratamentos que alterem a CEE de mamões e associem esses resultados com a sensibilidade ao 1-MCP. Entretanto, resultados obtidos por Trevisan et al. (2013) indicam que a exposição ao etileno antes da aplicação do 1-MCP contornou problemas de falhas no amadurecimento em mamões 'Golden', quando o inibidor da ação do etileno é aplicado isoladamente em estádio de maturação precoce.

Resultados promissores para a aplicação de etileno e 1-MCP foram observados por Abdi et al. (1998) em ameixas climatéricas, Chiriboga et al. (2012) em peras e Zhu et al. (2015) em bananas.

Assim, a evolução do conhecimento sobre os fatores que alteram a resposta do mamão ao 1-MCP pode não apenas contribuir para o entendimento dos mecanismos regulatórios envolvidos, mas também, tem potencial de aplicação para a resolução de

problemas práticos da cultura, como o aumento da vida pós-colheita, manutenção da qualidade e diminuição das perdas pós-colheita.

Diante deste contexto, o objetivo do presente estudo foi determinar a influência da concentração endógena de etileno de mamões 'Golden' na sensibilidade ao 1-MCP.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Material vegetal e condução do experimento

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita e Bioquímica do Departamento de Horticultura da Universidade da Flórida (Gainesville-FL-USA).

Mamões 'Golden' provenientes do município de Linhares, ES, Brasil foram colhidos no estágio 1 de maturação, que corresponde a 15% de coloração amarela da epiderme e firmeza de polpa superior 100 Newtons, no período de julho a setembro de 2015. Na casa de embalagem da empresa, os frutos foram submetidos aos tratamentos comumente utilizados para exportação que envolvem lavagem, tratamento hidrotérmico, aplicação de cera, classificação por tamanho, embalagem em caixas de papelão de 3,5 kg e resfriamento a 10°C.

Os mamões foram transportados até Miami-FL, via aérea, a 10°C e, posteriormente, para Gainesville em caminhão refrigerado também na mesma temperatura. O intervalo entre a colheita e o recebimento dos frutos no laboratório foi de aproximadamente 4 dias.

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à uniformidade do estágio de maturação e ausência de injúrias. Em seguida, foram submetidos aos tratamentos que visaram reduzir ou aumentar a CEE, antes da aplicação de 1-MCP.

Para reduzir a CEE, os frutos foram armazenados em minicâmaras herméticas de 176 L (Figura 1B) e submetidos a fluxos de misturas gasosas a partir de cilindros de ar sintético (21% de O₂) e de nitrogênio (puro) para atingir a concentração de 2% de O₂. Os cilindros foram calibrados através de válvulas de pressões (Figura 1A). Antes de o fluxo de ar chegar às minicâmaras o ar era humidificado após passar por um recipiente com água.

Para aumentar a CEE foi utilizado o mesmo procedimento citado anteriormente, no qual os frutos foram submetidos a fluxos de misturas gasosas a partir de cilindros de etileno (3000 ppm) e de ar sintético (21% de O₂) para atingir a concentração de 2,5 µL L⁻¹ de etileno.

A concentração de 2% de O₂ foi obtida misturando-se 48,16 mL min⁻¹ de ar sintético mais 457,59 mL min⁻¹ de nitrogênio. Para conseguir os valores dos fluxos, partiu-se de um

fluxo inicial de 505,42 mL min⁻¹ de ar sintético, que era suficiente para contornar todos os frutos e utilizou-se o cálculo abaixo para o ajuste do fluxo de O₂:

$$\text{Fluxo de O}_2 = \frac{\text{concentração de O}_2 \text{ desejada} * 505,42 \text{ mL min}^{-1}}{\text{concentração de O}_2 \text{ no cilindro}}$$

Fluxo de N₂ = fluxo inicial – fluxo de oxigênio

A concentração de 2,5 µL L⁻¹ de etileno foi obtida misturando-se 505 mL min⁻¹ de ar sintético mais 0,42 mL min⁻¹ de etileno. Neste caso, também utilizou-se um fluxo inicial de 505,42 mL min⁻¹ de ar sintético e foi realizado o seguinte cálculo:

$$\text{Fluxo de etileno} = \frac{\text{concentração de etileno desejada} * 505,42 \text{ mL min}^{-1}}{\text{concentração de etileno no cilindro}}$$

Fluxo de ar sintético = fluxo total – fluxo de etileno

Frutos do grupo controle foram submetidos ao fluxo de 505,42 mL min⁻¹ de ar sintético. Foram utilizados 100 frutos em cada minicâmara, as quais se encontravam dentro de uma câmara de refrigeração em temperatura de 20 ± 1°C.

As concentrações dos gases no interior das minicâmaras foram monitoradas a cada meia hora, durante as cinco primeiras horas de tratamento, na entrada e na saída do fluxo, através de septos localizados nestas posições. Amostras de 1 mL da atmosfera destas extremidades dos fluxos foram coletas e analisadas em cromatógrafo a gás Varian CP-3800 (Varian Inc., Palo Alto, CA) para verificação da concentração de O₂, CO₂ e etileno.

Após 16 horas de tratamento, metade dos frutos de cada grupo foi submetida à aplicação de 1-MCP, na forma líquida (Figura 1C). Utilizou-se a concentração 100 µg L⁻¹ preparada a partir da formulação AFxRD-014 (0,14% de ingrediente ativo, SmartFresh®). Os frutos foram imersos em 20 L da solução durante um minuto, conforme descrito por Choi e Huber (2008). A outra metade dos frutos foi imersa em água deionizada. Desta forma, ao final da aplicação de 1-MCP obtiveram-se os seguintes tratamentos:

T1: Ar +1-MCP
 T2: Hipoxia+ 1-MCP
 T3: Etileno + 1-MCP
 T4: Controle (ar)
 T5: Hipoxia
 T6: Etileno

Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a $22 \pm 1^\circ \text{C}$ e 85-90% UR durante 8 dias. A firmeza da polpa, a atividade da enzima poligalacturonase e a coloração da casca foram avaliadas a cada dois dias. A CEE, a produção de etileno e a atividade respiratória foram analisadas diariamente.

Figura 1 - (A) Fluxocentro utilizado no preparo das misturas gasosas. (B) Mamões em minicâmara selada durante o tratamento com mistura gasosa (C) Aplicação de 1-MCP líquido

5.2.2 Metodologia das análises

Firmeza do fruto: foi determinada por compressão, sem a destruição do fruto, com auxílio do Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd. Godalming, England). Utilizou-se uma célula com carga de 5kg e uma sonda plana com 5cm de diâmetro. Os mamões foram colocados individualmente em posição horizontal e comprimidos 2,5mm em sua região equatorial, após o estabelecimento da força zero. A força (N) máxima gerada durante a compressão foi utilizada para análise de dados. Foram tomadas duas medições em dois pontos equidistantes ao eixo equatorial, utilizando-se 12 frutos por tratamento.

Coloração da casca: foram tomadas duas leituras com colorímetro Minolta, modelo CR-400 (Minolta camera Co, Ltd., Japan), em dois pontos equidistantes na região equatorial do fruto e os resultados foram expressos em °hue. Foram utilizados 12 frutos por tratamento.

Nota de cor da casca: foi dada por duas pessoas, através de notas aplicadas a cada fruto, de acordo com a escala abaixo (Figura 1), onde 0= 0% da coloração da casca amarela, 1= se 1 a 15% da coloração da casca amarela, 2= de 16 a 25% da coloração da casca amarela, 3= de 26 a 50% da coloração da casca amarela, 4= de 51 a 75% da coloração da casca amarela e 5= de 76 a 100% da coloração da casca amarela.

Figura 2- Escala de notas atribuídas para a coloração da casca de mamão 'Golden'

5.2.2.2 Atividade da enzima poligalacturonase (PG)

Foi determinada a partir de 15 g da polpa dos frutos, retiradas da região equatorial do fruto. As amostras passaram por sucessivos processos de lavagens com etanol (95%) para extração da enzima e, em seguida, o extrato foi incubado durante 3 horas a 34°C utilizando tampão de 50 mM de acetato de sódio (pH 5,0), 50 mM tris + 1,2 M de NaCl (pH 7,0) e ácido poligalacturônico. Em seguida, as amostras reagiram com a solução de cobre e arsênio e, posteriormente, foram lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 600 nm. A atividade da enzima foi determinada por redução de ácidos hexurônicos, conforme Milner e Avigad (1967) e os resultados expressos em $\mu\text{mol. mL}^{-1}$ de ácido galacturônico.

Concentração endógena de etileno: para retirar amostras da atmosfera endógena do fruto, uma agulha de calibre de 1,2 mm e 40 mm de comprimento foi inserida na região do pedúnculo do fruto até atingir a cavidade e fixada com massa de calafetar para evitar vazamentos. A agulha permaneceu fixada no fruto até o fim do experimento. A extremidade externa da agulha foi vedada com silicone, formando um septo. Para a coleta das amostras, utilizou-se uma seringa (modelo Hamilton, marca Gastight, EUA) com agulha de diâmetro

menor que aquela fixada no fruto de forma a permitir a coleta de amostras da atmosfera interna do fruto através do septo de silicone. Amostras de 2,5 mL de gás do interior dos frutos foram coletadas e injetadas em cromatógrafo gasoso, Varian CP-3800 (Varian Inc., Palo Alto, CA) equipado com detector de condutibilidade térmica (TCD, CO₂) e detector de ionização de descarga de pulso de hélio (PDHID, etileno). Foram utilizados seis frutos para esta análise e os resultados expressos em ppm.

Produção de etileno e taxa respiratória: seis frutos de cada tratamento foram colocados individualmente em recipientes herméticos de vidros (1,75 L) com septos em sua tampa. Os recipientes foram fechados por 1 hora a 20°C. Em seguida, amostras de 2,5 mL do espaço livre do recipiente foram retiradas e as concentrações de CO₂ e C₂H₄ foram analisadas utilizando o cromatógrafo a gás Varian CP-3800 (Varian Inc., Palo Alto, CA), equipado com detector de condutibilidade térmica (TCD, CO₂) e detector de ionização de descarga de pulso de hélio (PDHID, etileno). A atividade respiratória e a produção de etileno foram expressas em mL CO₂kg⁻¹h⁻¹ e µL C₂H₄kg⁻¹h⁻¹, respectivamente.

5.2.3 Análise dos dados

O delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (6 tratamentos x 8 dias de armazenamento) para as análises físico-químicas. Para as análises fisiológicas, o delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (6 tratamentos x 6 dias de avaliação), com a utilização de 10 frutos por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico SAS (University Edition).

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Firmeza da polpa e atividade da enzima poligalacturonase (PG)

A evolução do amadurecimento dos mamões foi evidenciada pelo decréscimo dos valores de firmeza no decorrer do amadurecimento em todos os tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 3).

Figura 3- Firmeza da polpa de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico, com ou sem aplicação de 1-MCP, e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias de armazenamento. $n=12$

O uso da hipoxia, independentemente do uso do 1-MCP, provocou retenção do amolecimento de mamões até o quarto dia de armazenamento, no qual, os valores de firmeza dos dois tratamentos foram superiores aos demais tratamentos ($p<0,05$). Após esse dia, maiores valores de firmeza foram observados em frutos tratados com hipoxia + 1-MCP em relação aos demais tratamentos ($p<0,05$).

O tratamento com etileno influenciou no amolecimento dos frutos deste tratamento, pois estes apresentaram menores valores de firmeza da polpa em relação aos demais tratamentos até o sexto dia ($p<0,05$). Porém, no oitavo dia o valor de firmeza destes frutos era de 17,69 N e não diferiu dos frutos controle. Os tratamentos ar+1-MCP e etileno+1-MCP apresentaram padrões de decréscimo de firmeza similares e não diferiram entre si ($p>0,05$).

Pode-se sugerir que a hipoxia aumentou a sensibilidade de mamões ao 1-MCP. Este fato está relacionado ao efeito das baixas concentrações de O_2 na diminuição da CEE dos frutos, que prejudicaram a síntese de etileno e, conseqüentemente, aumentaram a sensibilidade ao inibidor da ação do etileno. A hipoxia sozinha exerceu efeito transitório na retenção da firmeza até que a concentração de O_2 nestes frutos retornou aos seus valores normais e os frutos amoleceram rapidamente. Por outro lado, frutos tratados apenas com etileno, e que, apresentaram maiores CEE, os valores de firmeza decresceram rapidamente.

Houve expressiva retenção de firmeza em tomates submetidos à hipoxia hipobárica e posterior aplicação de 1-MCP, em relação àqueles tratados apenas com 1-MCP. Adicionalmente, os autores ainda constataram que a hipoxia sozinha não apresentou efeito na retenção da firmeza (ZHANG; HUBER; RAO, 2010).

Em sequencia, Zhang, Huber e Rao (2011) avaliaram o efeito da modificação da CEE em abacates, que possuem valores de etileno endógeno mais altos do que tomates. Eles verificaram que a aplicação de 1-MCP após 12 h de hipoxia causou forte supressão no amolecimento destes frutos em comparação com aqueles que receberam 1-MCP sem prévia hipoxia.

Pêssegos submetidos à hipoxia hipobárica por 12 h aumentaram a sensibilidade ao 1-MCP e permaneceram mais firmes do que frutos tratados sob condições atmosféricas conforme Hayama, Ito e Kashimura (2005). Esses autores ainda constataram que frutos tratados com hipoxia durante 1 hora mais 11 horas sob atmosfera normal e 1-MCP tiveram efeito maior na retenção da firmeza do que frutos não submetidos à hipoxia.

Por outro lado, Zhang et al. (2009) verificaram que a aplicação de $100\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno mais $500\text{ }\eta\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP suprimiu a resposta dos frutos ao bloqueador devido a alta CEE provocada pela exposição ao etileno, no entanto, a combinação de $10\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno + $500\text{ }\eta\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP não diminuiu a sensibilidade dos frutos ao bloqueador na retenção dos parâmetros de amadurecimento.

A atividade da enzima poligalacturonase (PG) apresentou um pico de atividade no 6º dia. Apesar dos padrões similares de PME, a magnitude dos valores foi diferente ($p<0,05$) entre os tratamentos (Figura 4).

Figura 4 - Atividade da enzima poligalacturonase (PG) em polpa de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico, com ou sem aplicação de 1-MCP, e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=12$

Frutos tratados apenas com etileno apresentaram as maiores atividades da enzima ($p < 0,05$) e atingiram valor máximo de $34,96 \mu\text{g mL}^{-1}$ no sexto dia, como resultado do estímulo dado a esta enzima devido à exposição destes frutos ao fluxo de etileno.

O tratamento hipoxia + 1-MCP reduziu a atividade da PG durante todo o período de armazenamento, atingindo apenas $19,84 \mu\text{g mL}^{-1}$ no sexto dia de armazenamento. Esse tratamento diferiu dos demais após o segundo dia de armazenamento ($p < 0,05$).

Houve redução na atividade da PG também em frutos tratados com ar + 1-MCP, porém, menos pronunciada do que no tratamento hipoxia+1-MCP, indicando que o etileno exerce papel regulador na atividade desta enzima em mamões. Os tratamentos etileno + 1-MCP, ar e hipoxia apresentaram padrões de atividade semelhante e atingiram valores máximos de $29,59$, $31,07$ e $30,19 \mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente, também no sexto dia de armazenamento.

Assim como no presente trabalho, diversos autores correlacionaram tratamentos contituídos por hipoxia + 1-MCP com a baixa atividade da enzima poligalacturonase, conforme Zhang, Huber e Rao (2011) em abacates e Dong et al. (2013) em tomates. Kaptis et al. (2004) também indicaram que a baixa atividade da enzima PG em tomates submetidos a baixas concentrações de oxigênio é compatível com a baixa taxa de amolecimento nesses frutos. Para Kanellis, Solomos e Mattoo (1989), tratamentos com baixas concentrações de O_2 ,

mesmo na presença de etileno inibem a atividade da enzima PG, fosfatases e outras enzimas em abacate e banana.

Um dos principais problemas de perdas pós-colheita de mamões é o amolecimento excessivo da polpa, que torna o fruto susceptível aos danos mecânicos e ataque microbiano, dificultando a comercialização dos mesmos. Neste trabalho, houve maior sensibilidade ao 1-MCP em frutos tratados previamente com hipoxia indicando que esta associação prolonga o tempo de manutenção da integridade da parede celular de mamões.

Em frutos carnosos, a parede celular é composta de celulose, hemicelulose, substâncias pécicas, proteínas, lignina, água, substâncias incrustantes como cutina e suberina e certos compostos inorgânicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). As funções da parede celular incluem a reorganização dos componentes da parede e, provavelmente, a transdução de sinal em resposta ao estresse ambiental e ao ataque de patógenos (SARKAR; BOSNEAGA; AUER, 2009).

Durante o amadurecimento, as principais modificações na parede celular são catalisadas por enzimas, principalmente as pectinolíticas como as pectinametilerases (PME), as poligalacturonases (PG), xilanases e celulasas (PAULL; GROSS; QIU, 1999). De acordo com Manrique e Lajolo (2004), a PME participa do processo de amolecimento dos frutos, desesterificando o polímero de ácido galacturônico (pectina), enquanto a PG catalisa a hidrólise das ligações β -1,4 entre os resíduos de ácido galacturônico no interior da cadeia de pectina. A enzima PG está envolvida em processos iniciais do amadurecimento (TIGCHELAAR; MCGLASSON; BUESCHER, 1978) e promove o aumento da despolimerização, com consequente aumento da solubilidade da parede celular em água, o que proporciona o amaciamento dos frutos (RESENDE et al., 2004).

Apesar da baixa atividade da PG em frutos tratados com hipoxia + 1-MCP e ar +1-MCP, observou-se que no fim do período de armazenamento, estes se encontravam macios (Figura 3) e não diferiram dos frutos tratados somente com hipoxia ($p > 0,05$). Isto se deve ao fato de que outras enzimas também participam do processo de amolecimento do mamão, como a pectinametilerase, β -galactosidase, xilanase e celulase (PAULL; CHEN, 1983; LAZAN et al., 2004; MANENOI; PAULL, 2007).

5.3.2 Coloração da casca

O padrão de mudança da coloração do fruto foi semelhante em todos os tratamentos, representado pelo decréscimo do ângulo hue e aumento nas notas de cor. Isso indica o

processo natural de mudança na coloração da casca do fruto, de verde para amarelo, decorrente do amadurecimento dos mesmos (Figura 5A e 5B).

O tratamento com hipoxia + 1-MCP influenciou na manutenção da cor verde da casca de mamões por mais tempo, evidenciado pelo decréscimo mais lento dos valores de ° hue destes frutos em relação aos demais tratamentos após o segundo dia de armazenamento ($p < 0,05$).

Por outro lado, frutos tratados somente com etileno diferiram ($p < 0,05$) dos demais tratamentos até a penúltima avaliação, exibindo a coloração da casca amarela mais rapidamente. No último dia, os valores do ° hue deste tratamento não diferiram dos frutos controle.

Os demais tratamentos, ar + 1-MCP, etileno + 1-MCP e hipoxia isoladamente apresentaram padrões de decréscimo do °hue semelhantes para esta variável ($p < 0,05$) e o decréscimo dos valores de ° hue destes frutos foram intermediários aos frutos tratados com etileno e aqueles tratados com hipoxia + 1-MCP.

Figura 5 - Cor da casca (A) e nota de cor (B) de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico com ou sem aplicação de 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8 dias. $n=12$

As notas de cor da casca apresentaram correspondência com os valores de ângulo hue, no quais frutos tratados somente com etileno atingiram rapidamente as maiores notas de cor ($p < 0,05$), que equivale a fruto completamente amarelo. Por outro lado, os frutos do tratamento hipoxia + 1-MCP apresentaram as menores notas de todos os tratamentos, ($p < 0,05$) ao longo do amadurecimento. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários entre os tratamentos de maiores e menores notas de cor da casca.

Figura 6– Coloração da casca de mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico com ou sem aplicação de 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 2, 4, 6 e 8 dias

As mudanças na coloração da casca e perda de firmeza são aquelas mais facilmente observadas durante o amadurecimento do mamão, sendo amplamente relatadas na literatura. Assim como ocorreu no parâmetro de firmeza, a exposição à hipoxia, seguida pela aplicação do 1-MCP aumentou a sensibilidade dos mamões ao inibidor, e como consequência, os frutos levaram mais tempo para se tornarem amarelos (Figura 6).

Do mesmo modo, foi observado atraso na mudança de coloração da casca em mangas (WANG et al., 2006), peras (CHEN; ZHANG; WHANG, 2010), abacates (ZHANG; HUBER; RAO, 2011), e tomates (DONG et al., 2013) em resposta a tratamentos com baixa concentração de oxigênio mais 1-MCP.

A perda da cor verde deve-se a decomposição da clorofila em decorrência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como por exemplo o pH, a ativação da enzima clorofilase e a presença de sistemas oxidantes (BLEINROTH et al., 1992).

O etileno também é responsável pelo aumento da atividade das enzimas clorofilase e oxidase (SHIMOKAWA; SHIMADA; YAEIO, 1978; YAMAUCHI et al., 1997), responsáveis pela degradação da clorofila e desaparecimento da cor verde. Concomitantemente, este

hormônio estimula a carotenogênese, que promove o aparecimento da cor amarela ou laranja (STEWART; WHEATON, 1972).

De acordo com o presente trabalho, a ativação dessas enzimas é dependente do etileno, de modo que se observou rápida mudança de coloração na casca de mamões tratados com etileno e atraso quando se utilizou tratamento que inibiu a produção desse hormônio (hipoxia+1-MCP).

5.3.3 Atividade fisiológica

5.3.3.1 Concentração endógena de etileno (CEE)

A CEE foi crescente em todos os tratamentos, partindo de 0,08 ppm de etileno (Figura 7). Até o segundo dia de armazenamento essas concentrações permaneceram baixas e não houve diferença entre os tratamentos ($p>0,05$). A partir do terceiro dia, a CEE aumentou em todos os tratamentos até o fim do período de armazenamento e houve influência do tempo e dos tratamentos ($p<0,05$) nesta variável.

Figura 7 - Concentração endógena de etileno de mamões 'Golden' submetidos a tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico com ou sem aplicação de 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=6$

Os frutos tratados somente com etileno apresentaram CEE superiores aos demais tratamentos a partir do quarto dia de armazenamento ($p<0,05$), atingindo o valor de 3,55 ppm

no último dia. Por sua vez, a CEE foi menor em frutos tratados com hipoxia+1-MCP em relação aos demais tratamentos ($p<0,05$), atingindo o valor de máximo de 1,83 ppm no último dia de armazenamento. Os tratamentos etileno + 1-MCP, controle e hipoxia não diferiram entre si ($p>0,05$), atingindo valores de 2,13, 2,33 e 2,53 ppm, respectivamente, no fim do armazenamento.

Houve uma diferença de quase 50% entre a CEE de frutos tratados com hipoxia + 1-MCP e aqueles tratados somente com etileno. Essa diferença foi refletida nos diferentes parâmetros avaliados (cor, firmeza e atividade de enzima PG). A diminuição da CEE, pela redução do oxigênio aumentou a sensibilidade dos frutos ao 1-MCP e as mudanças relacionadas ao amadurecimento foram atrasadas. Por analogia, o aumento da CEE provocado pela exposição ao etileno ocasionou menor sensibilidade dos frutos ao 1-MCP e estes amadureceram mais rapidamente.

Zhang, Huber e Rao (2010) observaram redução de 61 e 49% na CEE de tomates em estágio de maturação precoce e maduros, respectivamente, submetidos a tratamentos com hipoxia hipobárica e 1-MCP, em relação aos frutos não tratados. No entanto, a aplicação de 1-MCP sem o tratamento prévio com hipóxia não alterou a CEE durante o armazenamento. Em sequência, Zhang Huber e Rao (2011) verificaram redução de 70% da CEE em acabates submetidos à hipoxia e a aplicação do 1-MCP em relação aos frutos tratados sob condições de atmosfera normal e uso do bloqueador. Assim como Dong et al. (2013), que também reportaram diminuição na CEE em tomates tratados com 1-MCP gasoso após período de hipoxia hipobárica. Adicionalmente, análises da concentração interna de 1-MCP nos frutos mostraram que a combinação de hipoxia hipobárica mais 1-MCP aumentou marcadamente o ingresso do bloqueador nos frutos e, conseqüentemente, a sensibilidade dos frutos ao inibidor, assim como observado por Wang et al. (2006, 2010).

Por outro lado, no presente estudo observou-se que o aumento na CEE diminuiu a sensibilidade de mamões ao 1-MCP, evidenciado pelos altos valores na CEE, assim como reportado por Zhang et al. (2009).

É bem documentado que o oxigênio é essencial para a síntese de etileno endógeno (BURG; BURG, 1967), e acredita-se que, baixas concentrações de oxigênio inibem a biossíntese de etileno (LEGGE; THOMPSON, 1983; YANG; HOFFMAN, 1984).

Isso ocorre, pois a biossíntese de etileno é proveniente do aumento da expressão de genes das enzimas relacionadas à síntese desse hormônio, que inclui a enzima ACC oxidase, cuja função é transformar o composto ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) em etileno, liberando CO_2 e HCN (SEYMOUR et al., 1993). Para que ocorra essa transformação,

essa enzima tem um requerimento obrigatório por O_2 (VERVERIDIS; JOHN, 1991; ROCKLIN et al., 1999; SAIRAM et al., 2008) que é o alvo dos tratamentos de hipoxia, como mostra o presente trabalho. No entanto, a hipoxia quando aplicada isoladamente tem um efeito transiente, visto que o fruto recupera a concentração de O_2 se for exposto em seguida às condições de atmosfera normal.

5.3.3.2 Produção de etileno

Houve aumento da produção de etileno em todos os tratamentos em decorrência do processo de amadurecimento dos frutos ($p < 0,05$) (Figura 8).

Figura 8 - Produção de etileno de mamões ‘Golden’ submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico, com ou sem aplicação de 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=6$

No momento anterior à aplicação dos tratamentos a produção de etileno era $0,22 \mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ e manteve-se baixa até o terceiro dia de armazenamento em todos os frutos ($p < 0,05$).

Após o terceiro dia, a produção de etileno aumentou em todos os tratamentos, especialmente em frutos tratados com etileno isoladamente, que detiveram maior produção em relação aos demais tratamentos e atingiram valores de $3,16 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ no último dia de armazenamento ($p < 0,05$).

Por outro lado, assim como ocorreu na CEE, os frutos tratados com hipoxia + 1-MCP apresentaram baixa produção de etileno em quase todo período de armazenamento, mas no

fim do amadurecimento os valores de produção de etileno desses frutos não diferiram dos frutos tratados com ar + 1-MCP ($p>0,05$).

A hipoxia isoladamente não causou redução na produção de etileno. Até o terceiro dia de armazenamento os frutos possuíam alta produção de etileno e não diferiram de frutos tratados com etileno ($p>0,05$). Após esse período, estes frutos não diferiram dos frutos controle até o fim do amadurecimento.

Os resultados indicam que houve correlação positiva entre a CEE e produção de etileno. Uma vez que a CEE foi baixa (Figura 6), não houve estímulo para a síntese de etileno em decorrência da falta de oxigênio necessário para que a enzima ACC oxidase executasse o seu papel. Por outro lado, a aplicação de etileno estimulou a síntese de mais etileno, pois como o mamão possui o sistema autocatalítico de produção desse hormônio proporcionando alta CEE e alta produção de etileno.

Para Zhang et al. (2009), a aplicação de altas concentrações de etileno antes do 1-MCP, aumentou a CEE destes frutos e praticamente anulou o efeito inibidor da ação do etileno. No entanto, quando a concentração de etileno aplicado foi reduzida, os frutos mostraram-se sensíveis ao bloqueador e a produção de etileno foi menor.

Por outro lado, houve aumento na sensibilidade de frutos ao 1-MCP aplicado sob hipoxia hipobárica durante 1 ou 12 horas, evidenciado pela diminuição na produção de etileno e de CO_2 em relação aos frutos tratados sob atmosferas normais, conforme Hayma, Ito e Kashimura (2005).

Segundo El-Mir et al. (2001), frutos submetidos a baixas concentrações de oxigênio (3% O_2), prolongaram sua vida útil e reduziram as produções de etileno e atividade respiratória. Esses autores ainda sugeriram que essa exposição a atmosferas com baixa concentração de O_2 causaram certo efeito protetor no fruto, caso ele seja submetido novamente a baixas concentrações de O_2 .

5.3.3.3 Atividade respiratória

Houve aumento na atividade respiratória durante o período de armazenamento (Figura 9). Foi observado pico de produção de CO_2 no dia 1 para a maioria dos tratamentos, porém, no tratamento com hipoxia isoladamente verificou-se atraso de um dia deste pico, que pode corresponder ao climatério, e no tratamento hipoxia + 1-MCP não foi verificado o climatério (Figura 9).

No terceiro dia, a produção de CO₂ foi baixa em todos os tratamentos e não diferiram entre si ($p>0,05$). Após esse dia, a produção de CO₂ foi crescente até o fim do período de armazenamento.

Os frutos controle e aqueles tratados apenas com etileno apresentaram maiores atividades respiratórias em relação aos demais tratamentos ($p<0,05$). Os tratamentos hipoxia + 1-MCP, etileno + 1-MCP e hipoxia isoladamente apresentaram os menores valores e padrões semelhantes desta variável.

Figura 9 - Atividade respiratória de mamões 'Golden' submetidos aos tratamentos com hipoxia, etileno e ar atmosférico com ou sem aplicação de 1-MCP e armazenados a $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 6 dias. $n=6$

Houve diferença de aproximadamente 50% na atividade respiratória entre os tratamentos hipoxia + 1-MCP e etileno no último dia de armazenamento, que é reflexo das diferentes concentrações endógenas de etileno dos respectivos tratamentos, assim como ocorreu para produção de etileno.

Os efeitos do 1-MCP sobre a produção de etileno e respiração de bananas foram insignificantes quando inibidor da ação do etileno foi aplicado 24 h após o tratamento com propileno (GOLDING et al., 1999). Jiang, Joyce e Macnish (1999) também verificaram supressão na produção de etileno e CO₂ em frutos tratados com 1-MCP, 3 dias após o tratamento de etileno.

Por outro lado, Zhang, Huber e Rao (2011) constataram que frutos próximo ao climátero e expostos a 2% de O₂ durante 12 horas antes da aplicação de 1-MCP reduziram

em 70 % a CEE e exibiram maior supressão do amolecimento e atraso no pico de produção de etileno e respiração em comparação com frutos tratados com 1-MCP após exposição a condições de atmosfera normal.

Dong et al. (2013) confirmaram que a inibição do amadurecimento foi particularmente acentuada nos parâmetros de respiração e produção de etileno, além de que a combinação hipoxia hipobárica + 1-MCP alteraram o padrão natural desses dois parâmetros, diferente do observado neste trabalho.

Wang et al. (2006) verificaram reduções na firmeza, produção de etileno e de CO₂ em mangas expostas a hipoxia e 1-MCP em diferentes intervalos de tempo, assim como Kashimura, Hayama e Ito (2010) que relataram que a combinação de hipoxia + 1-MCP por apenas 1 ou 30 minutos foi efetiva na redução da respiração e produção de etileno.

Também houve supressão da respiração, amolecimento, produção de etileno, enzima poligalacturonase e celulases em frutas mantidas por 24 (PESIS et al., 1994) ou 40 horas (DORI et al., 1995) somente em hipoxia hipobárica.

Todos esses resultados corroboram com a ideia de que a concentração interna de etileno em frutos climatéricos, pode modular a sensibilidade dos mesmos ao 1-MCP (ZHANG et al., 2009; ZHANG; HUBER; RAO, 2010), através do controle indireto das enzimas ligadas a sua biossíntese.

5.4 Conclusões

- A concentração endógena de etileno em mamões ‘Golden’ modulou a sensibilidade ao 1-MCP.
- O tratamento hipoxia + 1-MCP foi o mais eficiente na manutenção da parede celular e no atraso da mudança de coloração da casca de mamões ‘Golden’.
- A hipoxia isoladamente causou efeito transitório na retenção da firmeza de mamões ‘Golden’.
- Os frutos tratados com etileno isoladamente apresentaram maiores CEE e as mudanças relacionadas ao amadurecimento foram antecipadas.

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**, Richmond, v. 14, p. 29-39, 1998.
- ADKINS, M.F.; HOFMAN, P.J.; STUBBINGS, B.A., MACNISH, A.J. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.35, p.33–42, 2005.
- ALI, A.; MUHAMMAD, M.T.M.; SIJAM, K.; SIDDIQUI, Y. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. **Food Chemistry**. Washington, v. 124, p. 620–626, 2011.
- BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 1-25, 2003.
- BLEINROTH, E.W.; SIGRIST, J.M.M.; ARDITO, E.F.G.; CASTRO, J.V.; SPAGNOL, W.A.; NEVES FILHO, L.C. **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais**. 2. ed. Campinas: ITAL, 1992. 203p. (Manual Técnico, 9).
- BRON, I.U.; JACOMINO, A.P. Ripening and quality of ‘Golden’ papaya fruit harvested at different maturity stages. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Jundiaí, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2006.
- BURG, S.P.; BURG, E.A. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, p. 144-152, 1967.
- CHEN, S.; ZHANG, M.; WANG, S. Physiological and quality responses of Chinese ‘Suli’ pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd) to 1-MCP vacuum infiltration treatment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 90, p. 1317–1322, 2010.
- CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; DUPILLE, E.; RECASENS, I. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated ‘Conference’ pears. **Journal of Science and Food Agriculture**, New York, v. 10, n. 15, p. 1781- 1788, 2011.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- CHOI, S.T.; HUBER, D.J. Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 49, p. 147–154, 2008.
- DEELL, J.R.; AYRES, J.T.; MURR, D.P. 1-methylcyclopropene concentration and timing of postharvest application alters the ripening of ‘Mcintosh’ apples during storage. **HortTechnology**, Ontario, v. 18, p. 624–630, 2008.

- DONG, X.; RAMÍREZ-SÁNCHEZ, M.; HUBER, D.J.; RAO, J.; ZHANG, Z.; CHOI, A.T.; LEE, J.H. Diffusivity of 1-methylcyclopropene in spinach and bok choy leaf tissue, disks of tomato and avocado fruit tissue, and whole tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 78, p. 40–47, 2013.
- DORI, S.; BUTRON, J.N.; LOMANIEC, E.; PESIS, E. Effect of anaerobiosis on aspects of avocado fruit ripening. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 379, p. 129–136, 1995.
- EL-MIR, M.; GERASOPOULOS, D.; METZIDAKIS, I.; KANELIS, A.K. Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, p. 215–226, 2001.
- FAO. **FAOSTAT**. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/home/e>>. Acesso em: 16 jan. 2016.
- GODOY, A.E.; JACOMINO, A.P.; CERQUEIRA-PEREIRA, E.C.; GUTIERREZ, A.S.D.; VIEIRA, C.E.M.; FORATO, L.A. Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de mamões golden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 682–691, 2010.
- GOLDING, J.B.; SHEARER, D.; MCGLASSON, W.B.; WYLLIE, S.G. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.47, p. 1646–1651, 1999.
- HAYAMA, H.; ITO, A.; KASHIMURA, Y. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment under sub-atmospheric pressure on the softening of ‘Akatsuki’ peach. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v.74, p. 398–400, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bin/prtab1>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- JACOMINO, A.P.; TREVISAN, M.J.; ARRUDA, M.C. de; KLUGE, R.A. Influence of the interval between harvest and 1-methylcyclopropene application on papaya ripening. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 456–459, 2007.
- JACOMINO, A.P.; GALLON, C.Z.; TREVISAN, M.J.; PEREIRA, W.S.P.; ARGENTA, L. Effect of the fruit-to-volume ratio on the efficacy of 1 methylcyclopropene application in papaya. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 945, p. 421–428, 2012.
- JIANG, Y.M.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A.J. Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. **Plant Growth Regulation**, Amsterdam, v. 28, p. 77–82, 1999.
- JOHNSON, D.S. Factors affecting the efficacy of 1-MCP applied to retard apple ripening. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 796, p. 59–67, 2008.
- KANELIS, A.K.; SOLOMOS, T.; MATOOS, A.K. Hydrolytic enzyme activities and protein pattern of avocado fruit ripened in air and in low oxygen, with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v. 90, p. 259–264, 1989.

- KAPOTIS, G.; PASSAM, H.C.; AKOUMIANAKIS, K.; OLYMPIOS, C.M. Storage of tomatoes in low oxygen atmospheres inhibits ethylene action and polygalacturonase activity. **Russian Journal Plant Physiology**, Moscow, v.51, p. 112–115, 2004.
- KASHIMURA, Y.; HAYAMA, H.; ITO, A. Infiltration of 1-methylcyclopropene under low pressure can reduce the treatment time required to maintain apple and Japanese pear quality during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 14–18, 2010.
- LAZAN, H.; NG, S-Y.; GOH, L-Y.; ALI, Z.M. Papaya β -galactosidase/galactanase isoforms in differential cell wall hydrolysis and fruit softening during ripening. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 42, p. 847-853, 2004.
- LEGGE, R.L.; THOMPSON, J.E. Involvement of hydroperoxides and an ACC-derived free radical in the formation of ethylene. **Phytochemistry**, Pullman, v. 22, p. 2161–2166, 1983.
- MANENOI, A.; PAULL, R.E. Papaya fruit softening endoxylanase gene expression, protein and activity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 131, p. 470-480, 2007.
- MANRIQUE, G.D.; LAJOLO, F.M. FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, p. 101-109, 2002.
- METZIDAKIS, I.T.; SFAKIOTAKIS, E.M. Physiological disorders induced by low oxygen on avocado fruits. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.379, p. 397–403, 1995.
- MILNER, Y.; AVIGAD, G. A copper reagent for the determination of hexuronic acids and certain ketohexoses. **Carbohydrate Research**, Norwich, v.4, p. 359–361, 1967.
- 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.X. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Alexandria, v. 16, p. 79-89, 1999.
- PESIS, E.; MARINANSKY, R.; ZAUBERMAN, G.; FUCHS, Y. Prestorage low-oxygen atmosphere treatment reduces chilling injury symptoms in 'Fuerte' avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Alexandria, v. 13, p. 245–253, 1994.
- RESENDE, J.M.; CHITARRA, M.I.; MALUF, W.R.; CHITARRA, A.B.; SAGGIN JUNIOR, O.J. Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 206-201, 2004.

ROCKLIN, A.M.; TIERNEY, D.L.; KOFMAN, V.; BRUNHUBER, N.M.W.; HOFFMAN, B.M.; CHRISTOFFERSEN, R.E.; REICH, N.O.; LIPSCOMB, J.D.; QUE, L. Role of the nonheme Fe (II) center in the biosynthesis of the plant hormone ethylene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.96, p.7905–7909, 1999.

SAIRAM, R.K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P.S.; SRIVASTAVA, G.C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 52, p. 401–412, 2008.

SALTVEIT JUNIOR, M.E. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.89, p. 204–210, 1993.

SARKAR, P.; BOSNEAGA, E.; AUER, M. Plant cell walls throughout evolution: towards a molecular understanding of their design principles. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 3, p. 3615–3635, 2009.

SEYMOR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. 664p.

SHIMOKAWA, K.; SHIMADA, S.; YAEHO, H. Ethylene-enhanced chlorophyllase activity during degreening of *Citrus unshiu* Marc. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 129–135, 1978.

SISLER, E.C.; ALWAN T.; GOREN R.; SEREK M.; APELBAUM, A. 1 substituted cyclopropenes: effective blocking agents for ethylene action on plants. **Plant Growth Regulation**, Amsterdam, v. 40, p. 223–228, 2003.

SOUZA, M.S.; AZEVEDO, S.F.; SILVA, M.G.; PEREIRA, M.G.; OLIVEIRA, J.G. Resposta da aplicação do 1-MCP em frutos de mamoeiro ‘Golden’ em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 693–700, 2009.

STEWART, I.; WHEATON, T.A. Carotenoids in citrus: their accumulation induced by ethylene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 20, n. 2, p. 448–449, 1972.

TIGCHELAAR, E.C.; MCGLASSON, W.B.; BUESCHER, R.W. Genetic regulation of tomato fruit ripening. **HortScience**, Alexandria, v. 13, p. 508–513, 1978.

TREVISAN, M.J.; JACOMINO, A.P.; CUNHA JUNIOR, L.C.; ALVES, R.F. Aplicação de 1-metilciclopropeno associado ao etileno para minimizar seus efeitos na inibição do amadurecimento do mamão ‘Golden’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p.384–390, jun. 2013.

VERVERIDIS, P.; JOHN, P. Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. **Phytochemistry**, Pullman v. 3, p. 725–727, 1991.

WANG, B.G.; JIANG, W.B.; LIU, H.X.; LIN, L.; WANG, J.H. Enhancing the postharvest qualities of mango fruit by vacuum infiltration treatment with 1-methylcyclopropene. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, London, v.81, p. 163–167, 2006.

WANG, M.; CAO, J.; LIN, L.; SUN, J.; JIANG, W. Effect of 1-methylcyclopropene on nutritional quality and antioxidant activity of tomato fruit (*Solanum lycopersicon* L.) during storage. **Journal of Food Quality**, New Jersey, v.33, p. 150–164, 2010.

WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 389-409, 2006.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene treatment, and temperature during treatment, on ripening of air-stored and controlled-atmosphere-stored apples. **Hortscience**, Alexandria, v.40, p. 2096–2101, 2005.

WATKINS, C.B.; NOCK, J.F.; WHITAKER, B.D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, p.17–32, 2000.

YAMAUCHI, N.; AKIYAMA, Y.; KAKO, S.; HASHINAGA, F. Chlorophyll degradation in Wase Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with on-tree maturation and ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 71, n. 1/2, p. 35-42, 1997.

YANG, S.F.; HOFFMAN, N.E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 35, p. 155-189, 1984.

ZHANG, Z.; RAO, J. Short-term hypoxic hypobarica transiently decreases internal ethylene levels and increases sensitivity of tomato fruit to subsequent 1-methylcyclopropene treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.56, 131–137, 2010.

_____. Ripening delay of mid-climacteric avocado fruit in response to elevated doses of 1-methylcyclopropene and hypoxia-mediated reduction in internal ethylene concentration. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.60, p.83–91, 2011.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; HURR, B.M.; RAO, J. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 54, p. 1-8, 2009.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 107, p. 23–32, 2015.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande desafio para o sucesso do 1-MCP em mamões ‘Golden’ é viabilizar o uso do regulador em frutos parcialmente verdes, estágio utilizado para comercialização, sem que haja comprometimento do amadurecimento. No entanto, as respostas ao bloqueador da ação do etileno são muito variadas. Para isso, conhecer os fatores que alteram a sensibilidade dos frutos ao 1-MCP são fundamentais para possibilitar o uso dessa tecnologia nessa cultura.

De acordo com essa pesquisa, o uso do 1-MCP associado ao etileno simultaneamente é uma ótima alternativa para que o fruto não perca a firmeza tão rapidamente e mantenha a qualidade durante o período de comercialização. No entanto, para uma próxima fase desse trabalho, será necessária uma investigação, em nível molecular, principalmente a respeito da dinâmica dos receptores de etileno em resposta a aplicação de etileno e 1-MCP.

O aroma das frutas é um dos fatores relevantes para o consumidor e influencia na sua decisão de compra, portanto, deve-se atentar para a interferência das tecnologias sobre a composição de voláteis. Neste trabalho, o uso do 1-MCP não causou forte prejuízo ao aroma dos mamões. Pesquisas, também em nível molecular, sobre as enzimas envolvidas na biossíntese dos principais compostos voláteis responsáveis pelo aroma são importantes, pois ajudam a esclarecer quais pontos da via são mais afetados pelo etileno, sabendo-se que a diminuição de um composto volátil pode levar a uma melhor percepção do aroma ou diminuir essa percepção.

No presente trabalho ficou claro que a concentração endógena de etileno do mamão modula a sensibilidade ao 1-MCP, no entanto, são necessários que se realizem estudos elucidando outros fatores que alteram essa sensibilidade, como a ligação do 1-MCP a outras moléculas do fruto que não sejam os receptores de etileno, a oxidação do 1-MCP e mudanças envolvendo as propriedades da ligação entre 1-MCP e sítio receptor.