

**QUALIDADE E BIOQUÍMICA DE PAREDE
CELULAR DE SAPOTI [*Manilkara sapota* (L.)
Von Royen] SUBMETIDO AO 1-
METILCICLOPROPENO**

PATRÍCIA LÍGIA DANTAS DE MORAIS

2005

PATRÍCIA LÍGIA DANTAS DE MORAES

QUALIDADE E BIOQUÍMICA DE PAREDE CELULAR DE SAPOTI
[*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] SUBMETIDO AO 1-
METILCICLOPROPENO

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Luiz Carlos de Oliveira Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Morais, Patrícia Lígia Dantas de

Qualidade e bioquímica de parede celular de sapoti [*Manilkara sapota*
(L.) Von Royen] submetido ao 1-metilciclopropeno / Patrícia Lígia Dantas
de Moraes. -- Lavras : UFLA, 2005.

144 p. : il.

Orientador: Luiz Carlos de Oliveira Lima.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. 1-metilciclopropeno. 2. Parede celular. 3. Conservação. 4. Qualidade. 5.
Sapoti. 6. *Manilkara sapota*. 7. Etileno. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD-583.685
-634.43

PATRÍCIA LÍGIA DANTAS DE MORAIS

QUALIDADE E BIOQUÍMICA DE PAREDE CELULAR DE SAPOTI
[*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] SUBMETIDO AO 1-
METILCICLOPROPENO

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de “Doutor”.

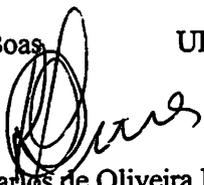
APROVADA em 20 de maio de 2005

Pesquisador Dr. Ricardo Elesbão Alves EMBRAPA

Prof. Dr. José Donizeti Alves UFLA

Prof. Dr. Admilson Bosco Chitarra UFLA

Prof. Dr. Eduardo Valério Vilas Boas UFLA


Prof. Dr. Luiz Carlos de Oliveira Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

Aos meus pais,
Raimundo Silvio e Aurecina Moraes.
Ao meu irmão, Abidias Neto,
pelo amor, esforços e apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTO

A DEUS, pela vida e pelas bênçãos.

Ao Cícero, pelo amor, apoio constante e ajuda em várias tarefas que foram indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

Ao Zoroastro Teixeira, Aparecida Teixeira, Adriana e Gilberto, pela amizade e acolhida carinhosa nos finais de semana.

À minha família e amigos, pelo amor, apoio e incentivo.

Às instituições, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Embrapa Agroindústria Tropical e FAPEMIG, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Ao Professor Luiz Carlos de Oliveira Lima, pela orientação, amizade e disponibilidade em todos os momentos solicitados.

Ao Pesquisador Ricardo Elesbão Alves da Embrapa Agroindústria Tropical, por sua orientação e apoio.

À Pesquisadora Heloisa Filgueiras, da Embrapa Agroindústria Tropical, pela orientação e amizade.

Ao Professor José Donizeti Alves, pela orientação e incentivo durante o curso.

Aos Professores Eduardo Vilas Boas e Admilson Bosco Chitarra, pela disponibilidade e valiosas sugestões dadas.

Ao Professor Mário Guerreiro, pela ajuda nas análises cromatográficas.

Aos pesquisadores Ebenezer Silva e Luiz Mosca, da Embrapa, pela contribuição.

Ao Pesquisador Clódion Bandeira, pela atenção e disponibilidade de material.

Ao Professor Josivan Barbosa Menezes, pelo apoio e amizade.

Aos companheiros do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa, Adriano, Lena, Márcia, Farley, Marcela, Cecília, Deuzenir, Camila, Vlayrton, Josi e demais estagiários, pela agradável convivência e ajuda na realização de várias tarefas.

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Frutos da UFPA, Ana Carla, Brígida, Elisângela, Andréia, Luizinho, Nélio, Mônica, Geny, Heloisa, Júlia e Daniela, pela ajuda e agradável convivência.

Aos estudantes de iniciação científica, Daniel e Alessandra, pelo dedicado auxílio na realização das análises de laboratório.

As funcionárias do Departamento de Ciência dos Alimentos, Mercia, Constantina e Sandra pelo auxílio nas análises e organização do laboratório.

Às companheiras de apartamento, Daniela, Francisca, Telma e Ludmila, pela amizade, compreensão, agradável convivência e ajuda.

Aos amigos Galvão, Rosamaria, Raquel Miranda e Ronan, pelas palavras amigas, apoio e divertidos passeios.

Aos colegas e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela amizade e apoio durante o curso.

Ao colega Paulo Cairo, pela ajuda na execução dos abstracts deste trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| 2 REFERÊNCIALTEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. Aspectos gerais do saptizeiro..... | 3 |
| 2.2 Aspectos agronômicos da cultura..... | 6 |
| 2.3 Alterações durante o amadurecimento do sapti..... | 9 |
| 2.3.1 Perda de massa..... | 9 |
| 2.3.2 Coloração..... | 11 |
| 2.3.3 Sólidos solúveis e açúcares solúveis totais..... | 12 |
| 2.3.4 Acidez e pH..... | 13 |
| 2.3.5 Compostos fenólicos..... | 14 |
| 2.3.6 Firmeza..... | 16 |
| 2.3.7 Modificações na parede celular..... | 17 |
| 2.3.7.1 Constituintes da parede celular..... | 17 |
| 2.3.7.2 Enzimas hidrolíticas de parede celular..... | 20 |
| 2.4 1-Metilciclopropeno (1-MCP)..... | 22 |
| 2.4.1 Mecanismo de ação..... | 22 |
| 2.4.2 Comercialização e condições de uso do 1-MCP..... | 23 |
| 2.4.3 Respostas fisiológicas do 1-MCP..... | 24 |
| 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 28 |
| CAPÍTULO 2..... | 41 |
| RESUMO..... | 42 |
| ABSTRACT..... | 43 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 44 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 46 |
| 2.1 Procedência e colheita dos frutos..... | 46 |
| 2.2 Instalação do experimento..... | 47 |
| 2.3 Avaliações..... | 48 |
| 2.3.1 Físicas..... | 49 |
| 2.3.2 Físico-químicas e químicas..... | 49 |
| 2.4 Delineamento experimental e análise estatística..... | 51 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 52 |
| 3.1 Vida útil pós-colheita..... | 52 |

| | |
|--|-----|
| 3.2 Perda de massa..... | 53 |
| 3.3 Firmeza..... | 55 |
| 3.4 Coloração da polpa..... | 58 |
| 3.5 Acidez titulável e pH..... | 61 |
| 3.6 Sólidos solúveis e açúcares solúveis totais..... | 64 |
| 3.7 Compostos fenólicos..... | 68 |
| 3. CONCLUSÕES..... | 72 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 73 |
| CAPÍTULO 3..... | 79 |
| RESUMO..... | 80 |
| ABSTRACT..... | 81 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 82 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 84 |
| 2.1 Procedência e colheita dos frutos..... | 84 |
| 2.2 Instalação do experimento..... | 84 |
| 2.3 Avaliações..... | 85 |
| 2.3.1 Físicas..... | 85 |
| 2.3.2 Físico-químicas e químicas..... | 86 |
| 2.3.3 Bioquímicas..... | 88 |
| 2.3.4 Compostos da parede celular..... | 90 |
| 2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas..... | 92 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 93 |
| 3.1 Vida útil pós-colheita..... | 93 |
| 3.2 Perda de massa..... | 95 |
| 3.3 Coloração da polpa..... | 97 |
| 3.4 Acidez titulável e pH..... | 100 |
| 3.5 Sólidos solúveis e açúcares solúveis totais..... | 103 |
| 3.6 Firmeza..... | 104 |
| 3.6.1 Pectina solúvel e total da polpa..... | 105 |
| 3.6.2 Atividade enzimática..... | 108 |
| 3.6.2.1 Pectinametilsterase..... | 109 |
| 3.6.2.2 Poligalacturonase..... | 111 |
| 3.6.2.3 β -Galactosidase..... | 113 |
| 4.6.3 Modificações na parede celular isolada..... | 115 |
| 4.6.3.1 Hemicelulose..... | 115 |
| 4.6.3.2 Poliuronídeos..... | 116 |
| 4.6.3.3 Açúcares neutros..... | 117 |
| 3. CONCLUSÕES..... | 123 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 124 |
| ANEXOS..... | 134 |

RESUMO

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. **Qualidade e bioquímica de parede celular de sapoti [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submetido ao 1-metilciclopropeno**. 2005. 143p. (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*¹

Nos últimos anos, o mercado de frutas exóticas no Brasil tem se mostrado muito promissor. Apesar disso, muitas espécies com alto potencial de mercado ainda são pouco exploradas comercialmente. Dentre essas espécies, o sapoti se destaca por apresentar um sabor apreciável e de grande aceitação no mercado consumidor. Entretanto, os pomares comerciais dessa espécie ainda carecem de tecnologias pós-colheita, a fim de evitar grandes perdas nesta fase. Com o objetivo de desenvolver tecnologias que mantenham a qualidade e prolonguem a vida útil pós-colheita do sapoti, o presente trabalho propôs-se a avaliar o efeito do 1-metilciclopropeno (1-MCP), um bloqueador da ação do etileno, sobre vários atributos de qualidade dos frutos. Os frutos, provenientes do município de Jaguaruana, estado do Ceará, Brasil, foram tratados com 1-MCP (0, 100, 200, 300 e 400nL.L⁻¹), por um período de 12 horas, armazenado sob atmosfera modificada, temperatura de 25 ± 2°C e umidade relativa de 70 ± 5%, durante 23 dias. Os frutos tratados apresentaram um acréscimo de seis dias na sua vida útil pós-colheita, tendo as melhores doses de 1-MCP situado-se entre 200 e 400nL.L⁻¹. O tratamento com 300nL.L⁻¹ retardou a perda de firmeza dos frutos, devido à sua ação inibitória sobre a atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase e β-galactosidase, resultando em menor solubilização de substâncias pécticas e menor degradação de celulose, hemicelulose, poliuronídeos e açúcares neutros.

¹ Comitê Orientador: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (orientador), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA-CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

ABSTRACT

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. **Quality and cell wall biochemistry of sapodilla [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submitted to 1-methylcyclopropene**. 2005. 143p. Thesis (Doctor's degree in Plant Physiology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*²

The Brazilian market of exotic fruits has shown good perspectives lately. However, many species, although their high market potential, are still low commercialized. Among those species, sapodilla is highly acceptable by the market consumer, because of its appreciable taste. The Brazilian sapodilla orchards are still deprived of postharvest technologies, so there are many damages on that stage. With aim to generate technology for quality maintenance and to elongate the postharvest lifetime of sapodilla, the purpose of this work was to evaluate the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP), as a blocker of ethylene action, on many attributes of fruit quality. The fruits, originated from Jaguaruana, Ceará state, Brazil, were treated with 1-MCP (0, 100, 200, 300 e 400 nL.L⁻¹), for 12 hours, stored under modified atmosphere, temperature 25 ± 2°C, relative humidity 70 ± 5 %, during 23 days. The fruits under treatments had more six days of postharvest lifetime and the best 1-MCP doses were between 200 and 400 nL.L⁻¹. The treatment with 300 nL.L⁻¹ retarded the loss of fruit firmnesses, due to its inhibitory action on the pectinmethylsterase, polygalacturonase and β-galactosidase enzymes activity, resulting in less pectin solubilization and less cellulose, hemicellulose, polyuronides and neutral sugars degradation.

² Guidance Committee: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (adviser), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA- CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas. No entanto, apenas 2,2% da produção brasileira são exportados (IBRAF, 2005), existindo diversas frutas nacionais apreciadas no mundo inteiro. Nos últimos anos, o mercado de frutas exóticas tem se mostrado muito promissor, porém, ainda existe uma grande diversidade de espécies frutíferas, nativas e exóticas, com alto potencial de mercado, que são pouco exploradas. Dentre essas espécies, o sapoti se destaca por apresentar um sabor apreciável e de grande aceitação no mercado consumidor

O sapotizeiro é nativo da América Central, mais especificamente do sul do México. Na década de 1980, o México era um dos principais produtores de sapoti, mas, atualmente, a Índia é o maior país produtor. No Brasil, esta espécie adaptou-se em praticamente todo o país, sendo cultivada desde o sul do estado de São Paulo até a região Amazônica. Contudo, adaptou-se melhor na região Nordeste, que apresenta altas temperaturas e umidade que favorecem o seu crescimento e produção (Bandeira et al., 2003).

A produção do sapotizeiro é favorecida por altas temperaturas e umidade; ele adapta-se muito bem a diversas condições de solo e clima, o que contribuiu para sua distribuição por várias partes do mundo, como nas Américas, Índia, Ásia, Oceania e ilhas do Caribe. Vários países exploram comercialmente os frutos do sapotizeiro e o látex para a produção de goma de mascar. No Brasil, sua exploração comercial destina-se ao mercado de frutos *in natura*.

Apesar do grande potencial comercial que o sapoti tem demonstrado, ele ainda é muito pouco estudado. Miranda (2002) verificou que sapotis podem ser armazenados por até 14 dias a 5°C e 12°C sob atmosfera modificada; um tempo

mais prolongado de armazenamento resultou em injúrias pelo frio nos frutos mantidos a 5°C e senescência naqueles a 12°C. Entretanto, ainda são poucas as tecnologias pós-colheita para este fruto, resultando em grandes perdas nesta fase. Além disso, o fruto não pode atingir mercados distantes, devido à sua curta vida útil pós-colheita de oito dias, quando armazenado a temperatura ambiente.

A utilização de inibidores da ação do etileno tem sido uma ferramenta importante para estudar o papel desse hormônio na maturação e senescência de frutos, assim como um tratamento pós-colheita para retardar o amadurecimento. Dos inibidores de etileno utilizados atualmente, destaca-se o 1-metilciclopropeno (1-MCP), composto gasoso que inibe a percepção de etileno por ligar-se de maneira irreversível à proteína receptora do mesmo.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do 1-MCP sobre vários atributos de qualidade do sapoti, com o propósito de desenvolver tecnologia que mantenha a qualidade e prolongue a sua vida útil pós-colheita, possibilitando a este fruto atingir mercados mais distantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais do sapotizeiro

O sapotizeiro é originário da América Central, mais especificamente do sul do México. Encontra-se, atualmente, disseminado por regiões de clima subtropical e tropical de países da América, Ásia e Oceania, como Estados Unidos, Índia, Sirilanka, Burna, Indonésia, Filipinas, Guatemala, Venezuela e Brasil (Mickelbart, 1996; Lakshminarayana & Moreno Rivera, 1979). É uma planta classificada taxonomicamente como *Manilkara zapota* L. Von Royen, pertencente ao gênero *Manilkara*, subfamília Mimosoideae e família Sapotaceae. No entanto, são utilizados vários sinônimos botânicos para denominar o sapotizeiro, como *Achras zapota*, *Sapota Achra*, *Manilkara sapotilla*, *Manilkara achras* e *Sapota zapodilla* (Gilly, 1943; Balerdi & Crane, 2005).

O sapotizeiro caracteriza-se por ser uma árvore de porte médio, variando de 3 a 5 metros quando cultivada, podendo, no entanto, atingir até 15 metros quando selvagem. O tronco é curto, ramificado e de cor pardo-acinzentada. As folhas são alternadas, com pecíolo pequeno de forma oblongo-lanceolada. As flores são isoladas na axila das folhas, apresentando 6 estames férteis e 6 estames estéreis, chamados estaminóides. O ovário é viloso e contém 10 a 12 lóculos (Simão, 1971; Gomes, 1987).

O fruto é uma baga, fixada por um longo pecíolo e pode apresentar-se na forma globosa, ovóide, elipsóide e arredondada. A massa dos frutos varia de 50 a 300g, com dimensões variando de 6 a 10cm de comprimento por 3 a 6cm de diâmetro. As sementes são de coloração escura, são duras, com poder germinativo longo, formato achatado ou ovóide, com dimensões médias de 0,5x1,0x2,5cm e número de semente por fruto variando de 2 a 6. O exocarpo, ou

casca, possui coloração marrom-escura, com textura ligeiramente áspera que se torna mais lisa à medida que o fruto amadurece. É coberto de lenticelas e muito fino, condição desfavorável para o armazenamento. O mesocarpo, ou polpa, é carnudo, suculento, de sabor adocicado e cor de creme-amarelada a ligeiramente avermelhada, apresentando características organolépticas de excelente aceitação e um rendimento de polpa de 85%. Os principais constituintes nutricionais do sapoti são carboidratos e compostos fenólicos (Vélez-Colón et al., 1989; Lima et al., 1990); também é rico em potássio e cálcio (Balerdi & Crane, 2005).

O sapoti apresenta várias denominações, como chicozapote, zapote, zapote chico, chicle, zapotillo no México; nispero em outros países de língua espanhola; ciku, chiku, chikoo, naseberry, mispu, mispel na Índia; kauki no Sudeste Asiático; sapodilla nos Estados Unidos; breiapfel na Alemanha; sapotille em países de língua francesa; sapotille, sapatija e mispelboon no Suriname; muyozapot em El Salvador e, no Brasil, sapoti ou sapota, conforme o formato do fruto (Popenoe, 1924; Gilly, 1943; Vélez-Colón et al., 1989; Mickelbart, 1996).

Os frutos e o látex do sapotizeiro são seus principais produtos de exploração comercial. Os frutos, pelo seu agradável aroma e sabor característico, são comercializados na forma *in natura* por preços relativamente altos, sendo também usados na indústria, para a fabricação de doces, refrescos, conservas, geléias e xaropes. O látex é utilizado comercialmente para a produção de goma de mascar. No século vinte, desenvolveu-se no México e América Central uma grande indústria de goma de mascar, tendo como matéria-prima o látex exsudado do tronco do sapotizeiro (Ruehle, 1951; Moura & Bezerra, 1982). Outros produtos desta planta também são aproveitados, como a madeira do tronco em carpintaria, a árvore para jardinagem, utilizando-se ainda a casca do fruto e o pó da semente para fins medicinais.

Na maturação, o látex é degradado, porém, se o fruto for colhido antes do estágio de maturidade fisiológica, o mesmo não é metabolizado adequadamente e coagula, formando bolsas (Lakshminarayana & Moreno-Rivera, 1979). De acordo com Selvaraj & Pal (1984), quando o fruto está no estágio de maturação fisiológica, o seu látex é constituído, principalmente, de água (41,4%), amido (3,4%), proteínas (1,23%), aminoácidos (0,58%), fenólicos (0,36%), frutose (0,17%), sacarose (0,08%) e glucose (0,08%).

O sapoti apresenta crescimento tipo sigmóide simples, mas existem cultivares que podem apresentar crescimento do tipo sigmóide duplo. Após atingir o estágio de maturação fisiológica, o crescimento estaciona (Lakshminarayana & Subramanyam, 1966; Sundarajan & Madhava-Rao, 1967; Rao et al., 1995; Araújo Neto et al., 2001).

Em várias partes do mundo, existem muitas cultivares de sapoti. Nos Estados Unidos, podem-se citar as cultivares Prolific, Brown Sugar, Russel e Modelo, entre outras (Lakshminarayana, 1980). Na Indonésia, 'Betawi', 'Koolon' e 'Apel Bener' (Fouque, 1972) e, nas Filipinas, a cultivar mais conhecida é a 'Ponderosa Chico' (Rodrigo, 1938). Na Tailândia, foram estabelecidas a 'Makok' e a 'Alano' e, no México, a 'Morena' e 'Hasyá' (Campbell & Mahdeem, 1997). Porém, o maior número de cultivares encontra-se na Índia; são 16 na região sul, sete na região oeste e nove na sudeste, destacando-se 'Calcutta Round', 'Cricket ball' e 'Kitabarti' (Lakshminarayana, 1980).

Os cultivos de saptizeiros no Brasil iniciaram em "fundo de quintal" e, como a planta era propagada por semente e altamente heterozigótica, resultava em grande variação de caracteres, principalmente na forma da copa, no porte da planta e no tamanho, forma e qualidade dos frutos. Existe, no entanto, uma classificação aceita para diferenciar estes variados tipos de frutos; geralmente, os de forma arredondada e maior tamanho são denominados de saptotas, enquanto

os de formato ovalado e menor tamanho são chamados de sapoti (Bandeira et al., 2003). Atualmente, depois de vários anos de pesquisas realizadas pela Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e pela Embrapa Agroindústria Tropical, já existem diversas cultivares estabelecidas no Brasil. A primeira foi a 'Itapirema-31', posteriormente a 'Chocolate', desenvolvidas pelo IPA e, recentemente, a Embrapa Agroindústria Tropical registrou mais duas cultivares, a 'BRS-228' (Sapota tropical) e a 'BRS-227' (Sapoti Ipacuru).

De acordo com Lakshminarayana (1980), na década de 1980, o México era um dos principais produtores, entretanto, atualmente, a Índia é a maior produtora, com uma área de 24.000 ha (Chadha, 1992). No Nordeste do Brasil, existem alguns pomares comerciais desta fruta, que ainda é pouco conhecida em outras regiões do país.

2.2 Aspectos agronômicos da cultura

O sapotizeiro tem seu desenvolvimento e sua produção favorecidos por altas temperaturas e umidade, comportando-se melhor em temperaturas em torno de 28°C e altitudes abaixo de 400 metros. Entretanto, adapta-se a uma ampla faixa de temperatura e altitudes, desde o nível do mar até 2.500 metros. Todavia, a produtividade e o sabor dos frutos são comprometidos por condições desfavoráveis, como temperatura, luminosidade, água e riqueza mineral do solo (Moura & Bezerra, 1982; Vélez-Cólon et al., 1989; Bandeira et al. 2003).

Os solos ricos e bem drenados favorecem a produção do sapotizeiro, entretanto, ele desenvolve-se em quase todos os tipos de solos, inclusive os calcários. Uma outra vantagem desta planta é a grande resistência a pragas e doenças, provavelmente devido à presença de grandes quantidades de compostos fenólicos (Lakshminarayana, 1980; Moura & Bezerra, 1982).

As principais pragas relatadas no Brasil são as brocas do caule e dos ramos e a mosca das frutas. Foram encontradas formas adultas de três espécies

de coleópteros da família Cerambycidae. Também tem sido relatada como praga a lagarta minadora (*Eucosmophora sp.*) nos Estados Unidos, a broca dos ramos (*Arbela tetraonis*) na Índia e a larva do bicudo das sapotáceas pertencente ao gênero *Conotrachelus*, na Costa Rica (Moura & Bezerra, 1982; Bandeira et al., 2003). Ainda pode ocorrer ataque de fungo em frutos imaturos ou maduros, principalmente do gênero *Phytophthora*, e bactérias associadas ao látex do fruto (Salunkhe & Desai, 1986).

O sapoti requer um período de quatro a sete meses, após sua formação, para atingir a maturidade fisiológica, dependendo da cultivar, clima e fertilidade do solo. Com uma produção concentrada em três meses do ano (Sundararajan & Madhava-Rao, 1967; Mickelbart, 1996). Resultados de pesquisas desenvolvidas pela Embrapa mostraram que a fertirrigação propiciou mudanças na produção do sapotizeiro, tornando-a produtiva durante todo o ano. Esse novo cenário tem estimulado novos produtores, sobretudo o pequeno, pois propicia uma renda constante, abastecendo o mercado constantemente e não somente em épocas concentradas (Bandeira et al., 2003).

A propagação do sapotizeiro por semente resulta em grande variabilidade, ocasionando problemas, como baixa produção e falta de uniformidade no tamanho, cor, textura e sabor dos frutos. A reprodução assexuada é a mais recomendada para os plantios comerciais, por resultarem em pomares mais uniformes (Bandeira et al., 2003). Têm-se utilizado processos artificiais, como estaquia, garfagem, encostia e técnicas de cultura de tecido (Popenoe, 1924; Rodrigo, 1938; Simão, 1971). Atualmente, a enxertia de topo é a mais recomendada, entretanto, Simão (1971) ressalta que a exsudação do látex pode dificultar a eficiência do processo. No entanto, Gonzalez et al. (1999) comprovaram que o fluxo de látex não interferiu no pegamento dos enxertos. Também se têm utilizado técnicas *in vitro* e já foi estabelecido um protocolo

eficiente e reproduzível para micropropagação de explantes jovens (Sachdeva & Mehra, 1986; Purohit & Singhvi, 1998).

A determinação do ponto de colheita do sapoti é um problema para os produtores, uma vez que este fruto não exhibe nenhuma mudança marcante na cor ou firmeza como indicador de colheita (Sundararajan & Madhava-Rao, 1967). Além do mais, a maturação é bastante irregular, pois, em uma mesma árvore, são encontrados frutos em todos os estádios de maturação, o que se deve ao constante florescimento e frutificação. O fruto colhido antes da maturação fisiológica demora a amolecer, não desenvolve as características organolépticas e ainda apresenta bolsa de látex coagulado. Já os frutos colhidos tardiamente amolecem rapidamente, dificultando o manuseio e o transporte. Quando colhido no estágio fisiológico adequado, torna-se apto para consumo após 8 a 10 dias da colheita, sob temperatura em torno de 28°C e rapidamente senesce (Báez et al., 1997).

São utilizados alguns indicadores físicos, de modo arbitrário, para determinar o ponto de colheita, como perda da textura arenosa da casca, queda do estigma da extremidade do fruto, tamanho do fruto, ausência de cor verde e exsudação do látex quando se arranha o fruto (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe & Desai, 1986; Abdul-Karim et al. 1987). O número de dias da floração até a maturação fisiológica também é um método utilizado para a determinação do ponto de colheita, mas varia muito, dependendo das condições climáticas e da cultivar. Para sapoti, este método é de difícil execução em escala comercial, pois, além das variações de condições climáticas e cultivares, existem frutos em uma só planta em diferentes estádios de desenvolvimento (Lakshminarayana, 1980; Roy & Joshi, 1997).

Bandeira et al. (2003) relataram que a produtividade está estritamente associada aos níveis de irrigação empregados, pois, tanto para o sapoti de formato arredondado como para o sapoti de formato oval, foram obtidas

produtividades inferiores a $2.000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nos tratamentos sem irrigação, enquanto que valores próximos a $8.000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ foram obtidos nos tratamentos irrigados. Para as cultivares BRS-227 (Sapoti Ipacuru) e BRS-228 (Sapota Tropical), aos oito anos de implantação e cultivadas sob irrigação, foram verificadas produtividades de $7.800\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $8.000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente (Cultivar BRS-227, 2003a; Cultivar BRS-228, 2003b).

2.3 Alterações durante o amadurecimento do sapoti

O amadurecimento compreende a fase final da maturação e o início da senescência, quando ocorre uma série de mudanças bioquímicas e fisiológicas, controladas geneticamente, muitas das quais independentes uma da outra. Destas, podem-se destacar aquelas que resultam em alterações no sabor, aroma, cor e firmeza (Wills et al., 1998; Kader, 2002).

O sapoti é um fruto climatérico e, dessa forma, necessita que ocorra o fenômeno climatérico para desencadear o processo de amadurecimento. Este climatérico é caracterizado por um aumento brusco na atividade respiratória e na produção de etileno (Selvaraj & Pal, 1984; Latifah, 1996; Miranda, 2002).

As mudanças típicas do amadurecimento podem ocorrer um pouco antes, durante, ou depois do pico climatérico, dependendo do fruto (Kader, 2002). O tempo entre a colheita e o pico respiratório varia de acordo com o fruto, o estágio de maturação na colheita, cultivar e temperatura de armazenamento. Para o sapoti, Moraes et al. (2004) constataram pico respiratório aos oito e dez dias após a colheita, para as cultivares BRS-227 e BRS-228, respectivamente.

2.3.1 Perda de massa

Geralmente, ocorre uma redução no teor de água durante o armazenamento dos frutos, provocada pela diferença de pressão de vapor entre o fruto e o ambiente. Esta redução é o principal fator responsável pela perda de

massa durante o transporte e armazenamento dos frutos, apesar da respiração também contribuir para a mesma.

A desidratação pós-colheita dos frutos tem grande importância comercial, já que os frutos são comercializados por massa, apesar de não influir consideravelmente nas reações bioquímicas que ocorrem durante o amadurecimento. Um outro problema para a comercialização é quando esta redução no teor de água ultrapassa 10% da massa fresca, provocando enrugamento que compromete a aparência do fruto, como no caso do sapoti, ocasionando perda do valor comercial (Chitarra & Chitarra, 1990; Pérez et al., 1995).

O sapoti apresenta perda de massa crescente relacionada positivamente com a temperatura e o tempo de armazenamento. Frutos submetidos a armazenamento refrigerado (5°C e 12°C) mostraram uma perda de massa de 5% ao final de 21 dias, no entanto, quando transferidos para condição ambiente, houve um aumento brusco, atingindo 23% de perda de massa aos 30 dias (Miranda, 2002).

O uso de atmosfera modificada tem sido eficiente na redução da perda de massa de sapoti. Miranda et al. (2002) verificaram, em frutos de sapotizeiro envoltos em filme de PVC e armazenados por duas semanas, sob temperatura de 15°C, uma perda de massa de 1,2%, enquanto que o controle perdeu 8,6%. Os autores ainda observaram que os sapotis de formato oval apresentam maior perda de massa em relação aos de formato arredondado.

Araújo Neto et al. (2001), estudando sapoti em quatro estádios de maturação (180, 195, 202 e 209 dias após formação do fruto), observaram que não houve diferença significativa entre os estádios de colheita para perda de massa. Neste estudo, os autores verificaram uma perda de massa média de 15,6% aos oito dias de armazenamento, em condição ambiente.

2.3.2 Coloração

A coloração é um dos atributos de qualidade mais atrativos para o consumidor, devendo apresentar uniformidade e intensidade. Os principais pigmentos vegetais são: clorofilas, carotenóides (carotenos, licopeno, xantofilas) e flavonóides (antocianinas).

Geralmente, as mudanças na coloração dos frutos estão associadas com a estrutura cloroplástica, redução do teor de clorofila e síntese de outros pigmentos, principalmente antocianinas e carotenóides (Salunke & Desai, 1986). Apesar de nem todos os frutos mudarem de cor durante o amadurecimento, esta é uma das características mais associadas ao ponto de colheita e maturidade para consumo (Tucker, 1993; Ferguson & Boyd, 2002).

Miranda (2002) não observou mudança na coloração externa do sapoti durante o seu desenvolvimento, todavia, a coloração interna sofreu alterações evidentes. Inicialmente, a cor da polpa é verde, para depois tornar-se verde-amarelado no sexto mês de desenvolvimento e bege-escuro, com tons avermelhados, nos frutos maduros. Já Ramadan et al. (1983), avaliando a cor externa, constataram que, à medida que o sapoti amadurece, a cor marrom da casca torna-se escura.

Báez et al. (1997), avaliando as cores interna e externa do sapoti utilizando colorímetro, verificaram não existir diferença ($L=47$, $a=11$ e $b=24$) para coloração externa durante o amadurecimento. No entanto, a cor interna apresentou uma alteração de cor creme-esbranquiçado ($L=75,6$, $a=1,7$ e $b=22,4$) no dia da colheita, para amarelo-creme ($L=60,6$, $a=5,4$ e $b=26,5$) aos 6 dias da colheita.

A coloração interna tem sido utilizada pelos produtores como critério empírico para definir o ponto de colheita do sapoti, removendo-se uma pequena parte da casca do fruto e observando-se a coloração da parte mais externa da polpa. Dessa forma, considera-se como estando no ponto de colheita o fruto com

coloração verde-amarelada (Miranda, 2002). Este método apresenta a desvantagem de danificar o fruto.

2.3.3 Sólidos solúveis e açúcares solúveis totais

O teor de sólidos solúveis é uma estimativa do teor de açúcares contido no fruto, apesar de conter outros compostos solúveis em água, tais como ácidos orgânicos, fenólicos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas.

Em sapoti, os teores de sólidos solúveis podem variar de 13% a 30%, dependendo da cultivar; 50% a 80% desse valor são açúcares (Shanmugavelu & Srinivasan, 1973; Vélez-Colón, 1989; Costa et al., 2000). Segundo Sundararajan & Madhava-Rao (1967), o teor de sólidos solúveis pode ser usado como um indicador da maturidade e também para distinguir cultivares.

Os açúcares são usados como substratos respiratórios e têm grande participação na composição do sabor e aroma dos frutos. Os principais açúcares presentes nos frutos são frutose, glucose e sacarose (Tucker, 1993).

Em sapoti maduro, os açúcares glucose e frutose, juntamente com os compostos fenólicos, são seus principais constituintes quantitativos. Além destes, encontram-se também outros açúcares redutores, tais como galactose, maltose e lactose, sendo que os dois últimos apresentam somente traços (Lakshminarayana, 1980).

Os teores de açúcares solúveis totais variam de 7,0% a 26%. Essa grande variação é devido às diferentes condições de cultivo e cultivares (Shanmugavelu & Srinivasan, 1973; Lakshminarayana & Moreno Rivera, 1979; Selvaraj & Pal, 1984; Vélez-Colón, 1989; Miranda, 2002). O sapoti maduro também contém um teor de amido relativamente alto, podendo atingir 5% (Abdul-Karin et al., 1987; Alves et al. 2000). Ainda foi observado por Miranda et al. (2002) que a quantidade de amido não diminuía conforme a quantidade de açúcares redutores aumentava durante o armazenamento. Vários pesquisadores observaram

pequeno acréscimo de açúcares solúveis durante o armazenamento de sapoti (Araújo Neto, 2000; Miranda, 2002). No entanto, Ramadan et al. (1983) observaram que não existe acúmulo de açúcares solúveis totais em sapotis após a colheita.

Báez et al. (1997) observaram um aumento nos teores de açúcares solúveis totais de 16,5%, no dia da colheita, para 21% aos seis dias de armazenamento. Os açúcares redutores, frutose e glucose, também apresentaram aumento durante o armazenamento, alcançando valores de 6,2% e 8,3%, respectivamente. Já a sacarose sofreu redução no 2º dia (6,1% para 4,8%), mas, em seguida, atingiu teores de 6,2% aos seis dias de armazenamento. Os autores acrescentam que, com o avanço do amadurecimento do fruto, a sacarose decresce, provavelmente devido à sua inversão em glucose e frutose.

Pathak & Bhat (1952) sugeriram que o aumento na concentração de sacarose em sapotis maduros é resultado não somente da degradação de amido e hemicelulose, mas também da degradação de constituintes do látex do fruto por microrganismos ou enzimas do próprio látex.

2.3.4 Acidez e pH

Os ácidos orgânicos, juntamente com os açúcares, são os principais substratos para respiração e ainda são determinantes do sabor e do aroma dos frutos. O ácido málico é descarboxilado, resultando em ácido pirúvico, o qual entra no ciclo de Krebs; já outros ácidos, como o succínico e o cítrico, entram diretamente. Algumas vezes, ainda pode ocorrer, por meio do malato, a formação de açúcares via gliconeogênese, o que pode justificar o aumento de açúcares durante o amadurecimento de alguns frutos, independente da hidrólise de amido e hemicelulose (Seymour et al., 1993; Taiz & Zeiger, 2004).

Geralmente, durante o amadurecimento de frutos, ocorre uma redução na acidez, que pode ser justificada pela utilização dos ácidos como substrato

para respiração. Este processo contribui para a qualidade dos frutos, pois diminui a relação acidez/açúcar que influencia no aroma e no sabor dos mesmos.

O principal ácido orgânico encontrado no sapoti é o ácido málico, e pode variar de 0,054% a 0,24% em saptis maduros, dependendo da cultivar. Já o pH é elevado, em torno de 5,0, e, devido à capacidade tamponante do suco celular da polpa de sapoti, as alterações durante o amadurecimento são relativamente pequenas (Vélez-Colón et al. 1989; Araújo Neto, 2000; Miranda, 2002).

Miranda (2002) verificou pouca variação no pH de saptis submetidos ao armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada, enquanto a acidez titulável decresceu. Já Báez et al (1997) observaram um aumento na acidez titulável no 2º dia de armazenamento a temperatura de 20°C, mas, em seguida, ocorreu um decréscimo. Pathak & Bhat (1952) sugeriram que a redução na acidez em sapoti também pode ser justificada pela descarboxilação dos ácidos orgânicos formando álcoois, produtos característicos de saptis excessivamente maduros.

O ácido ascórbico, ou vitamina C, apresenta grande importância nutricional, mas o sapoti não é uma boa fonte deste nutriente. O seu teor mantém-se baixo ao longo do desenvolvimento (Sastry, 1970; Shanmugavelu & Srinivasan, 1973), variando muito entre cultivares. Miranda (2002) verificou valores de 11,31 e 12,53mg.100g⁻¹ de polpa para vitamina C. Nas cultivares mexicanas, que geralmente apresentam teor mais alto, já foram constatados até 41,0mg.100g⁻¹ (Lakshminarayana & Moreno-Rivera, 1979).

2.3.5 Compostos fenólicos

Nos frutos, os compostos fenólicos são encontrados em níveis relativamente baixos, em comparação com outras partes da planta. No entanto,

eles são muito importantes para a qualidade dos frutos, pelo seu papel no desenvolvimento da cor, aroma e sabor.

Os compostos fenólicos representam um grande número de produtos naturais, biossintetizados mediante as rotas do ácido chiquímico e a do ácido malônico. Podem interagir com ligações peptídicas de proteínas, provocando inativação no caso de enzimas, resultando em um problema no estudo de enzimas de plantas (Kays, 1991; Cardoso et al., 2001).

Os fenólicos são susceptíveis à oxidação pelas fenolases, as quais convertem monofenóis para difenóis e, subsequente, para quinonas, resultando no escurecimento dos tecidos em resposta a injúrias, tais como cortes, amassaduras, desordens fisiológicas, etc. (Lima, 1997; Marin et al., 2001).

A adstringência dos frutos é determinada pelos compostos fenólicos e resulta da capacidade dos fenólicos, de massa molar intermediária (oligoméricos), formar complexos insolúveis com proteínas e mucopolissacarídeos da saliva, reduzindo sua ação lubrificante (Williams, 1957; Goldstein & Swain, 1963; Cardoso et al., 2001).

O sapoti é um fruto altamente adstringente quando imaturo, o que se deve ao alto teor de compostos fenólicos. Esta adstringência depende do grau de polimerização dos fenólicos e o tipo flavana é o principal responsável pela adstringência em sapoti imaturo. Durante a maturação ocorre polimerização desses compostos e, conseqüentemente, diminuição da adstringência (Goldships & Swain, 1963). No entanto, Lakshminarayana et al. (1969), apesar de constatarem essa polimerização das flavanas durante a maturação, acrescentam que essa redução da adstringência também é resultado do efeito de diluição pelo aumento em tamanho e no teor de compostos não fenólicos como os açúcares.

A solubilidade dos compostos fenólicos também depende do grau de polimerização. Os poliméricos são melhor extraídos em água, os dímeros de menor peso molecular em metanol puro e os oligômeros em metanol 50%.

Miranda (2002) verificou que os compostos fenólicos solúveis em metanol puro e em metanol 50% decrescem gradualmente até o sexto mês e aumentam após o climatério. Já os solúveis em água aumentam durante todo o período de crescimento e predominam durante o amadurecimento. A concentração total de fenólicos no final do crescimento foi de 4,5%. Entretanto, Araújo Neto (2000) não observou esse aumento dos fenólicos poliméricos e decréscimo dos dímeros e oligoméricos durante a maturação de sapoti, cultivar Itapirema-32, constatando 4,2% de fenólicos dímeros aos 180 dias da formação do fruto; mas, ao final de 12 dias de armazenamento, esse teor baixou para 0,11%.

2.3.6 Firmeza

A firmeza dos frutos é considerada um dos principais atributos de qualidade que, freqüentemente, estabelece a sua vida útil pós-colheita. A velocidade de amaciamento depois de colhido é mais ou menos rápida, dependendo da consistência inicial e da tecnologia de conservação empregada. Este processo é irreversível e está estritamente ligado ao seu estado de maturação (Guarinoni, 2000).

O amaciamento dos frutos depende da coesividade, tamanho, forma e turgidez das células que compõem o tecido. A parede celular é o componente mais resistente do tecido, formado por microfibrilas de celulose embebidas em uma matriz polissacarídica flexível. As células são conectadas pela lamela média, constituída principalmente por substâncias pécticas, que fornecem a coesão necessária para manter a unidade estrutural do conglomerado. Dessa forma, a hidrólise da parede celular primária e da lamela média é o principal processo responsável pelo amolecimento dos frutos (Pantástico, 1975). No entanto, a perda de turgor e a degradação de amido também podem contribuir para a redução da firmeza (Tucker, 1993).

Em sapoti, Miranda (2002) relata que o amaciamento parece estar associado à desorganização da parede celular e à redução da turgidez, já que a degradação de amido durante o amadurecimento é insignificante (Miranda, 2002).

Durante o amadurecimento de sapoti ocorre uma brusca redução na firmeza. Para a cultivar Itapirema 31 foi observada uma redução de 78,6 N, no dia da colheita, para 5,49 N após oito dias de armazenamento à temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ e $55 \pm 5\%$ UR (Araújo Neto et al., 2001). Esses autores ainda acrescentam que a firmeza é um bom indicador físico do ponto de colheita. Entretanto, Abdul-Karim et al. (1987) discordam, justificando que a firmeza varia consideravelmente, dependendo do local, estação e ano de cultivo.

2.3.7 Modificações na parede celular

Durante o amadurecimento dos frutos ocorre degradação dos polissacarídeos da parede celular primária e lamela média. Várias enzimas hidrolíticas estão envolvidas nestas reações de degradação da parede celular (Alexander & Grierson, 2002; Moctezuma et al., 2003; Saladie et al., 2004).

2.3.7.1 Constituintes da parede celular

A celulose é uma microfibrila firmemente empacotada de cadeias lineares de D-glucose com ligações $\beta(1\rightarrow4)$, que contribuem para a resistência e a predisposição estrutural da parede celular (Redgwell & Fischer, 2002).

A hemicelulose é um grupo heterogêneo de polissacarídeos, constituído por açúcares neutros que se ligam à superfície da celulose. Estes polissacarídeos podem formar correntes que reúnem microfibrilas de celulose em uma rede coesa ou podem funcionar como um revestimento deslizante para impedir o contato direto entre microfibrilas. Diversos tipos de hemiceluloses são encontrados em paredes celulares. O xiloglucano é a principal hemicelulose de

dicotiledôneas, constituída de uma estrutura básica de resíduos de D-glucose com ligações $\beta(1\rightarrow4)$ e cadeias laterais de xilose; em alguns casos, contém galactose e fucose adicionadas às cadeias laterais de xilose. Dependendo do estado de desenvolvimento e da espécie vegetal, a fração de hemicelulose pode conter também glucoronoarabinoxilanos e glucomananos (Carpita & McCann, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

As pectinas formam uma fase gel hidratada na qual esta implantada a rede celulose-hemicelulose. Estas constituem um grupo heterogêneo de polissacarídeos, caracteristicamente contendo açúcares ácidos, como ácido galacturônico e açúcares neutros, tais como ramnose, galactose e arabinose (Redgwell & Fischer, 2002).

Alguns polissacarídeos pécticos possuem uma estrutura primária relativamente simples, como o homogalacturonano ou ácido poligalacturônico, constituído de ácido D-galacturônico com ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ com resíduos ocasionais de ramnosil. No entanto, também podem ser bastante complexos, como o ramnogalacturonano II que contém ao menos dez açúcares diferentes em um padrão complexo de ligações. Uma das pectinas mais abundantes é o polissacarídeo complexo ramnogalacturonano I, que apresenta uma estrutura básica na qual alternam-se ácido $\alpha(1\rightarrow4)$ D-galacturônico e $\alpha(1\rightarrow2)$ D-ramnose. As cadeias laterais estão ligadas à ramnose e são compostas principalmente de arabinanas, galactanas e arabinogalactanas (Carpita & McCann, 2000).

São as pectinas que formam as geléias de frutos. Nos géis pécticos, os grupos carboxílicos (COO^-) carregados de cadeias de pectinas vizinhas são ligados via Ca^{2+} , formando um complexo firme com pectina (Taiz & Zeiger, 2004).

Durante o amaciamento da maioria dos frutos, os constituintes da parede celular que apresentam maiores perdas são os polímeros de ácidos urônicos e os resíduos de açúcares neutros não-celulósicos (Paull et al., 1999; Holland, 1993).

Gross (1984) observou que existe grande variação na composição da parede celular dos frutos de diferentes grupos botânicos, devendo-se evitar generalizações sobre o metabolismo de amaciamento desses frutos.

Mitcham & McDonal (1992) e Evangelista (1999) observaram um decréscimo de açúcares neutros, tais como ramnose, arabinose e galactose, e, ainda, um aumento na concentração de uronídeos solúveis durante o amadurecimento de manga. Fischer et al. (1994) sugerem que a perda líquida de resíduos de açúcares neutros da parede celular, durante o amadurecimento, pode ser atribuída a perda de cadeias laterais e pectinas.

Estudos anatômicos com sapoti mostraram uma desestruturação da parede celular e da lamela média, assim como uma desorganização geral do tecido durante a maturação (Miranda, 2002).

Flores et al. (1971), estudando a variação dos constituintes pécnicos em sapoti, observaram um aumento no teor de pectina solúvel ao longo do armazenamento (20°C a 25°C e 45%-65% U.R.), atingindo valores máximos aos 5 dias, quando o fruto estava completamente macio. Ainda para sapoti, Mohamed et al. (1996) encontraram uma correlação positiva entre o teor de pectina insolúvel e a firmeza.

O teor de hemicelulose sofreu decréscimo durante o amadurecimento de tomate, embora o teor de celulose tenha se mantido estável (Filgueiras, 1996; Vilas Boas, 1998). Estudos ultra-estruturais têm demonstrado uma aparente dissolução da rede microfibrilar da parede celular de alguns frutos, mas nenhuma evidência indica alteração na celulose (Pesis et al., 1978).

2.3.7.2 Enzimas hidrolíticas de parede celular

As principais enzimas envolvidas no processo de degradação da parede celular são poligalacturonases (exo EC 3.2.1.67; endo E.C. 3.2.1.15), pectinametilesterase (E.C. 3.1.1.11), e β -galactosidase (E.C. 3.2.1.23) (Seymour & Gross, 1996; Redgwell & Fischer, 2002; Lima, 2002).

A enzima pectinametilesterase (PME) catalisa a desesterificação de ácido galacturônico metilado, para que, em seguida, as poligalacturonases (PG) possam hidrolisar as ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ das galacturonanas, já que elas têm preferência em cadeias com baixo grau de metoxilação. A β -galactosidase promove a clivagem direta de ligações cruzadas do tipo $\beta(1-4)$ galactosídicas, produzindo resíduos de galactosil (Seymour & Gross, 1996; Moctezuma et al., 2003; Lohani et al. 2004).

A endo-PG catalisa clivagem ao acaso dentro da cadeia pectínica; já a exo-PG atua somente nas extremidades não redutoras da molécula (Kays, 1991; Lazan & Ali, 1993; Seymour & Gross, 1996).

As enzimas PG, PME e β -galactosidase são codificadas por famílias múltiplas de genes, nos quais a expressão é ativada durante o amadurecimento (White, 2002). Estudos utilizando tomates transgênicos e mutantes têm mostrado que a expressão de genes que codificam as enzimas PG e a β -galactosidase é regulada por baixos níveis de etileno (Sitrit & Bennet, 1998; Smith & Gross, 2000; Moctezuma et al., 2003). Segundo Moctezuma et al. (2003), o etileno controla a expressão de vários genes relacionados com o amadurecimento.

Plantas transgênicas submetidas à técnica antisense para o gene que codifica a PME não mostraram alteração na firmeza do fruto, mas foi observado um aumento no tamanho dos fragmentos de pectina e no grau de metilesterificação, constatando-se que a PME e a PG precisam atuar em conjunto para que ocorra o amaciamento (Hall et al., 1993; Lohani et al., 2004). Na presença de cálcio, a PME pode até indiretamente aumentar a estabilidade da

parede, pelo fato do cálcio formar ligações cruzadas com os grupos carboxílicos livres de cadeias desesterificadas de ácido galacturônico, originando uma estrutura conhecida como modelo *egg box* e evitando a despolimerização pela PG (Brett & Waldron, 1990; Tieman & Handa, 1994).

Em sapoti, a atividade da PME inicia-se com valores relativamente baixos e aumenta com o avanço da maturação, atingindo valores máximos quando o fruto amadurece e depois sua atividade decresce (Flores et al., 1971). Selvaraj & Pal (1984) também observaram aumento na atividade da PME durante o amadurecimento das cultivares de sapoti ‘Cricket Ball’ e ‘Oblong’.

Giovannoni (2001) verificou que a PG não é determinante do amaciamento de tomate, pois a utilização de plantas transgênicas com atividade bloqueada para esta enzima reduziu muito pouco a firmeza. Entretanto, quando bloqueada a atividade da β -galactosidase, a firmeza do fruto foi bastante reduzida (Brummell & Harpster, 2001; Alexander & Grierson, 2002). Em melão, a falta de atividade da PG e a redução na concentração de galactose da parede durante o amadurecimento, concomitantemente ao aumento na atividade da β -galactosidase, levam a crer que ela seja a principal enzima envolvida na modificação dos polissacarídeos estruturais da parede, provocando o amaciamento (McCollum et al., 1989; Ranwala et al., 1992). Em Jaboticaba, Lima (2002) também verificou uma baixa atividade da PG e uma alta atividade da β -galactosidase, na fase de crescimento e no início do amadurecimento do fruto. Segundo Carrington & Pressey (1996), a β -galactosidase não necessita da atuação prévia da PG para solubilizar a pectina.

Durante o amadurecimento de sapoti constatou-se atividade muito baixa da PG, entretanto, a atividade da β -galactosidase aumentou com o avanço da maturação (Miranda et al., 2001; Miranda, 2002). Também foi encontrado o açúcar galactose na forma solúvel em sapoti maduro (Pathak & Bhat, 1952), indicando que a β -galactosidase é uma das principais enzimas envolvida na

degradação da parede celular e, conseqüentemente, no amolecimento do fruto do sapotizeiro.

2.4 1-metilciclopropeno (1-MCP)

O etileno é conhecido como o hormônio regulador do amadurecimento e senescência de frutos e hortaliças. Principalmente, os frutos climatéricos como o sapoti, necessitam desse hormônio para desencadear o processo de amadurecimento.

Vários compostos são utilizados inibindo a ação do etileno: o dióxido de carbono (Mathooko, 1995), os íons de prata (Atta-Aly et al., 1987), o aminoetoxivinilglicina-AVG (Clayton et al., 2000), o ácido salicílico (Raskin, 1992), o 2,5-norbornadieno e o diazociclopentadieno (Sisler & Lallu, 1994). Recentemente, estudos têm demonstrado um novo inibidor, o 1-MCP, que age ligando-se irreversivelmente ao receptor de etileno e tem demonstrado grande eficiência na inibição da ação do etileno, além de um extraordinário potencial de uso comercial. Este inibidor é um gás com peso molecular igual a 54 e fórmula química C_4H_6 (Blankenship & Dole, 2003).

2.4.1 Mecanismo de ação

Estudos comprovaram que a atividade biológica do etileno requer uma ligação no sítio receptor de proteínas, chamadas de receptores de etileno, seguida pela ativação de uma ou mais rotas de transdução de sinal. Dessa forma, a resposta celular ao etileno pode ser bloqueada utilizando-se produtos que impeçam essa ligação. Klee (2002) relata que a ação do etileno também vai depender da concentração do hormônio e dos níveis de receptores, que são altamente regulados.

Durante a última década, com o advento da biologia molecular, o amadurecimento tem sido, cada vez mais, visto como um evento programado,

envolvendo a expressão controlada de genes específicos (Giovannoni, 2001). Evidências genéticas e bioquímicas apóiam um modelo no qual os receptores de etileno atuam como reguladores negativos da resposta ao etileno. Segundo esse modelo proposto, o etileno liga-se à proteína receptora inativando-a; com o receptor inativado ocorre a transdução de sinal e a expressão de genes, como resposta ao etileno. Já no caso do etileno não se ligar à proteína receptora, ela continua ativa e inibe a transdução de sinal, não ocorrendo a expressão dos genes (Hackett et al., 2000).

O 1-MCP também apresenta a capacidade de ligar-se à proteína receptora, entretanto, o 1-MCP não inativa a mesma. DesSa forma, a proteína bloqueia a transdução do sinal, não ocorrendo a expressão dos genes, ou seja, a resposta ao etileno. A ligação do 1-MCP com a proteína receptora é irreversível, mas, posteriormente, novos receptores são formados e as células recuperam a sensibilidade ao etileno (Blakenship, 2001).

A afinidade do 1-MCP pelo receptor é aproximadamente 10 vezes maior do que a do etileno. Assim, comparado com o etileno, o 1-MCP é ativo a concentrações muito mais baixas. O 1-MCP também influencia na biossíntese de etileno em algumas espécies, mediante inibição por *feedback* (Sisler & Serek, 1997).

2.4.2 Comercialização e condições de uso do 1-MCP

O 1-MCP foi inicialmente formulado pela Floralife, para o uso em flores, e comercializado com o nome de *Ethylbloc*[®]. Para produtos alimentícios, foi formulado pela AgroFresh, com o nome comercial de *Smartfresh*[®] (Blankenship & Dole, 2003).

Este produto é comercializado na formulação pó que, em contato com a água, libera o 1-MCP em forma de gás. Deve ser aplicado em locais hermeticamente fechados, como câmaras. O tempo de liberação é em torno de

uma hora, dependendo das condições de aplicação, principalmente temperatura. O 1-MCP é aplicado em doses extremamente baixas e com rápida difusão pelos tecidos, o que implica em menor tempo de aplicação no tratamento pós-colheita (Blankenship, 2001; Sisler et al., 2001).

O sucesso do tratamento com 1-MCP é influenciado por vários fatores, tais como: concentração do composto (deve ser suficiente para saturar os receptores e competir com o etileno), temperatura de aplicação (influencia no tempo de tratamento), frequência de aplicação, duração da aplicação (o tempo deve ser suficiente para liberar o gás e penetrar no tecido), taxa de síntese dos receptores de etileno (quanto maior a quantidade de receptores, maior será a concentração de 1-MCP para bloqueá-los), o período entre a colheita e a aplicação do tratamento, o estágio de maturação do fruto e a temperatura de armazenamento (Watkins et al., 2000; Mir et al., 2001; Blankenship, 2001; Hofman et al., 2001; Jiang et al., 2002; Pelayo et al., 2003).

Mir et al. (2001) estudaram o efeito do 1-MCP em maçãs cultivar Redchief Delicious, utilizando uma concentração de 700 nL.L^{-1} em diferentes épocas de aplicações, estádios de maturação e temperaturas de armazenamento. Os autores observaram que, à medida que a temperatura era reduzida, os benefícios da aplicação de 1-MCP tornaram-se menos pronunciados. A eficiência do tratamento declinou ligeiramente com o avanço do estágio de maturação dos frutos e aumentou com a maior frequência de aplicações. A frequência mais efetiva foi uma vez por semana, em temperaturas variando de 5°C a 20°C .

2.4.3 Respostas fisiológicas do 1-MCP

O 1-MCP tem demonstrado influência em várias respostas fisiológicas durante o amadurecimento de frutos, tais como na produção de etileno, na atividade respiratória, na perda de massa, na degradação da parede celular, no

metabolismo de proteínas, nos ácidos orgânicos, nos açúcares, nos compostos fenólicos, nos pigmentos, bem como no desenvolvimento de doenças, injúrias e desordens (Blankeship & Dole, 2003). No entanto, as diversas respostas verificadas com a utilização do 1-MCP são específicas para cada espécie (Fan et al., 1999; Watkins et al., 2000; Able et al., 2002). Ainda não existe na literatura nenhum trabalho avaliando o uso do 1-MCP em sapoti. No entanto, existem muitos trabalhos com outros frutos que comprovam a eficiência deste produto, dos quais alguns serão citados nesta revisão.

O tratamento com 1-MCP geralmente reduz a produção de etileno e a atividade respiratória. No entanto, existem alguns frutos em que ocorre aumento. Sugere-se que o 1-MCP influencia na regulação por *feedback* da biossíntese de etileno (Sisler & Serek, 1997). Frutos como maçã (Fan et al., 1999), pêra (Mathooko et al., 2001), ameixa (Dong et al., 2001a) e abacate (Jeong et al., 2002) mostraram redução na produção de etileno e atividade respiratória, quando tratados com 1-MCP. Entretanto, em banana, a produção de etileno aumentou com o tratamento com 1-MCP (Golding et al., 1998).

Abacates da cultivar Simmonds submetidos a tratamento com 450nL L⁻¹ de 1-MCP por 24 horas, à temperatura de 20°C, apresentaram significativa redução na taxa de amolecimento e perda de massa. Os autores observaram reduções nas atividades das enzimas ligadas à parede celular, tais como poligalacturonase, pectinametilesterase, celulase, β e α -galactosidases. A solubilidade dos poliuronídeos foi afetada pelo tratamento com 1-MCP, resultando em retardo do amadurecimento por 4 dias (Jeong et al., 2002).

O 1-MCP retardou a perda da acidez titulável e o aumento dos sólidos solúveis durante a vida útil pós-colheita de maçãs (Krammes et al., 2001). No entanto, Rupasinghe et al. (2000) verificaram, em maçãs das cultivares McIntosh e Delicious, que os sólidos solúveis não foram afetados pelo 1-MCP. Os

resultados dos trabalhos realizados indicam que o 1-MCP pode aumentar, diminuir, ou não afetar os teores de acidez titulável e açúcares em frutos.

Jiang et al. (2001) verificaram que o 1-MCP em morango inibe a atividade da fenilalanina amônia liase, baixando a produção de antocianina. Também foi observada, em morangos tratados com 1-MCP, menor relação das clorofilas a/b (Tian et al., 2000). Em abacates cultivar Quintal, o 1-MCP reteve o desenvolvimento da coloração da casca e da polpa (Kluge et al., 2002).

O 1-MCP inibiu a produção de compostos voláteis em frutos, como banana, maçã, melão e citros (Flores et al., 2002; Porat et al., 1999; Golding et al., 1999; Rupasinghe et al., 2000).

Alguns pesquisadores consideram que a inibição da ação do etileno pode impedir a ação de alguns patógenos, mas pode diminuir a resistência do tecido a outros (Hofman et al., 2001; Porat et al., 1999). Em morangos tratados com variadas concentrações de 1-MCP (500 a 1.000 nL L⁻¹), foi observado por Jiang et al. (2001) reduzida atividade da fenilalanina amônia liase, baixos teores de fenólicos e antocianinas, provocando aumento na susceptibilidade a ataque por patógenos (Jiang et al., 2001).

O 1-MCP reduziu os danos pelo frio em pós-colheita de frutos, como melão (Ben-Amor et al., 1999) maçã (Rupasinghe et al., 2000) e abacaxi (Selvarajah et al., 2001). Em contraste, em laranja, os danos foram acentuados (Porat et al., 1999).

O tratamento com 1-MCP protegeu ameixas japonesas do aparecimento de desordens fisiológicas provocadas pelo etileno (Dong et al., 2001b) e controlou a escaldadura superficial de maçãs (Rupasinghe et al., 2000). Em melão, atrasou o desenvolvimento de rachadura na região de abscisão do pedúnculo (Lima et al., 2002) e promoveu menor despencamento em bananas do grupo 'Prata-Anã' durante o armazenamento (Botrel et al., 2002). Já em nectarinas, cultivar Flavortop, induziu a ocorrência de severas desordens

fisiológicas, tais como esfarinhamento, avermelhamento da polpa e diminuição da sucosidade (Dong et al., 2001a).

Pôde-se observar nos resultados das pesquisas realizadas com 1-MCP que o efeito dos tratamentos é muito variado. Blankenship & Dole (2003), em trabalho de revisão sobre o 1-MCP, também observaram esta grande variabilidade nos resultados, e ainda nas temperaturas e concentrações utilizadas nos tratamentos. Os autores justificam esta variabilidade nos resultados pelo fato das espécies apresentarem sensibilidades diferentes para os receptores de etileno. Dessa forma, o tempo requerido para a produção de novos receptores e o fruto voltar a responder ao etileno é dependente da espécie estudada, do estágio de maturação do fruto e das condições de aplicação do tratamento. Dal Cin et al. (2004) realizaram estudo comparativo do efeito do 1-MCP em maçã e pêssego, observando que, em maçã, o fruto manteve-se firme e a produção de etileno foi reduzida após vários dias. Já em pêssego, a firmeza decresceu e a produção de etileno aumentou após poucas horas do fim do tratamento.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-KARIM, M.N.B.; TARMIZI, S.A.; BAKAR, A.A. The physico-chemical changes in ciku (*Achras sapota* L.) of Jantung variety. **Pertanika**, v.10, n.3, p.277-282, 1987.

ABLE, A J. et al. 1-MCP is more effective on a floral brassica (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) than a leafy brassica (*Brassica rapa* var. *chinensis*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.26, n.2, p.147-155, Nov. 2002.

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.2039-2055, 2002.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. Sapoti. In: _____. **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Jaboticabal FUNEP, 2000. p.55-58. (Série Frutas Nativas).

ARAUJO-NETO, S.E. **Desenvolvimento, maturação e determinação do ponto de colheita do sapoti (*Manilkara achras*)**. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN.

ARAUJO-NETO, S.E. et al. Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.45-49, 2001.

ATTA-ALY, M. A; SALTVEIT, M. E.; HOBSON, G.E. Effect of silver ions on ethylene biosynthesis by tomato fruit tissue. **Plant Physiology**, v.83, p.44-48, 1987.

BAEZ, M.A et al. Fisiologia poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras zapota* L.) durante condiciones de mercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.209-214, 1997.

BALERDI, C.F.; CRANE, J.H. The Sapodilla (*Manilkara zapota* Van Royen) in Florida. Disponível em: <<http://www.edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 20 jan. 2005.

BANDEIRA, C.T. et al. **O cultivo do sapatizeiro**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 2003. 20p. (Circular Técnica ,13).

BEN-AMOR, M. et al. Inhibition of ethylene biosynthesis by antisense ACC oxidase RNA prevents chilling injury in Charentais cantaloupe melons. **Plant and Cell Environment**, Oxford, v.22, n.12, p.1579-1586, 1999.

BLANKENSHIP, S.M. Ethylene effects and the benefits of 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.108, p.2-4, 2001. (Special Issue).

BLANKENSHIP, S.M.; DOLE J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.1, p.1-25, Apr. 2003.

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

BOTREL, N. et al. Inibição do amadurecimento da banana 'Prata-Anã' com a aplicação do 1-metilciclopropeno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.53-56, ab. 2002.

BRETT, C.; WALDRON, K. **Physiology and biochemistry of plant cell walls**. London: Academic Division of Unwin Hyman, 1990. 194p. (Topics in Plant Physiology, 2).

CAMPBELL, R.J.; MAHDEEM, H. New sapodilla cultivars with commercial potential. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.215-218, 1997.

CARDOSO, M. G. et al. **Metabólicos secundários vegetais: visão geral química e medicinal**. Lavras: UFLA, 2001. 81p. (Textos Acadêmicos).

CARPITA, N. et al. (Ed.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p.52-108.

CARRINGTON, C.M.S.; PRESSEY, R. Beta-Galactosidase II activity in relation to changes in cell wall galactosyl composition during tomato ripening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.121, p.132-136, 1996.

- CERVERA, J.C. et al. Cambios en la actividad de la enzima pectin metil esterasa durante el almacenamiento refrigerado y posterior maduración de frutos de chicozapote (*Achras sapota*). *Horticultura Mexicana*, v.8, n.3, p.203, 2001.
- CLAYTON, M. et al. Retain™ affects maturity and ripening of 'Bartlett' Pear. *HortScience*, Alexandria, v.35, n.7, p.1294-1299, 2000.
- COSTA, M.L. da. et al. Algumas características do fruto do sapotizeiro Itapirema-31 durante o desenvolvimento e o armazenamento. *Caatinga*, v.13, p.15-18, 2000.
- CULTIVAR de sapoti BRS-227 Sapoti Ipacuru. Fortaleza: EMBRAPA, 2003a. Folder
- CULTIVAR de sapoti BRS-228 Sapota tropical. Fortaleza: EMBRAPA, 2003b. Folder.
- CHADHA, K.L. Strategy for optimisation of productivity and utilization of sapota [*Manilkara achras* (Mill.) Forberg.]. *Indian Journal Horticulture*, v.49, p.1-17, 1992.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990, 293p.
- DAL CIN, V. et al. Different response of apple and peach fruits to 1-MCP, a case of different sensitivity to ethylene. In: INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5., 2004, Verona. Abstracts... Verona: The Italian Postharvest Working Group, 2004. p.77.
- DONG, L. et al. Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v.23, n.2, p.105-115, Nov. 2001b.
- DONG, L. et al. Ripening of 'Red Rosa' plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.28, n.10, p.1039-1045, 2001a.
- EVANGELISTA, R.M. Qualidade de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob refrigeração e tratadas com cloreto de cálcio pré-colheita. 1999. 129p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.690-695, 1999.

FERGUSON, I.B.; BOYD, L.M. Inorganic nutrients and fruit quality. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield, 2002. p.17-38.

FILGUEIRAS, H.A.C. **Bioquímica do amadurecimento de frutos de tomateiro híbridos heterozigotos para o mutante 'Alcobaça'**. 1996. 121p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FISCHER, M.; ARRIGONI, E.; AMADO, R. Changes in the pectic substance of apples during development and postharvest ripening. **Carbohydrate Polymers**, v.25, p.167-175, 1994.

FLORES F. et al. Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. **Journal Experimental Botanic**, v.53, p.201- 206, 2002.

FLORES, M.C. et al. Variacion de los constituyentes pécticos solubles y de la actividad de la pectinesterasa durante el proceso de maduracion de algunas frutas. **Revista de Agronomia y Tecnologia**, v.11, n.4, p.584-601, 1971.

FOUQUE, A. Espécies frutiéres d'amérique tropicale – Famille dès Sapotacees. **Fruits**, Paris, v.27, p.633-634, 1972.

GILLY, C.L. Studies on sapotaceae, II- The sapodilla-nispero complex. **Tropical Woods**, School of Forestry of the Yale University, n.73, p.1-22, 1943.

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

GOLDING, J. B. et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.87-98, Sept. 1998.

GOLDING, J.B. et al. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, Columbus, v.47, n.4, p.1646-1651, 1999.

GOLDSHIPS, J.L.; SWAPS, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, v.2, p.371-384, 1963.

GOMES, P. **Fruticultura brasileira**. 11.ed. São PauloXX Nobel, 1987.

GONZALEZ, G.J.M.; RUIZ, B.; HERNANDEZ, S. Respuesta del chicozapote a cinco tipos de injerto y tres épocas del injertado. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.25, 1999.

GROSS, K.C. Fractionation and partial characterization of cell wall from normal and ripening tomato fruit. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.62, p.25-32, 1984.

GUARINONI, A. Efecto del estado de madurez de los frutos a la cosecha sobre su conservación. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 2., SIMPOSIO: CONTROL DE FISIOPATÍAS EN FRUTAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN FRÍO, 3. Trabajos..., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2000, p.29-38.

HACKETT, R.M. et al. Antisense inhibition of the Nr gene restores normal ripening to the tomato Never-ripe mutant, consistent with the ethylene receptor-inhibition model. **Plant Physiology**. v.124, p.1079-1085, 2000.

HALL, L. N. et al. Antisense inhibition of pectin esterase gene-expression in transgenic tomatoes. **The Plant Journal**, v.3, p.121-129, 1993.

HOFMAN, P.J. et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1- methylcyclopene. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v.41, n.1, p.567-572, 2001.

HOLLAND, N. **Conservação pós-colheita de pêssegos (cv. Biuti): interação entre cálcio e temperatura**. 1993. 116p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA Disponível em:
<<http://www.ibraf.org.br>>. Acesso em: 20 fev. 2005.

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

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A.J. Softening response of banana fruit treated with 1-methylcyclopropene to high temperature exposure. **Plant Growth Regulation**, Dortrech, v.36, n.1, p.7-11, 2002.

JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; TERRY, L. A. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.3, p.227- 232, 2001.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, v.30, p.139-181, 1986.

KADER, A.A. Fruits in the global market. In: KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield: Academic, 2002. p.1-16.

KAYS, J. **Postharvest physiology of perishables**. Florida: CRC, 1991. 532p.

KLEE, H. Control of ethylene-mediated processes in tomato at the level of receptors. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.2057-2063, 2002.

KLUGE, R. A. et al. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.895-901, 2002.

KRAMMES, J.G. et al. Effects of methylcyclopropene and wax coating on apple fruit ripening during shelf life. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus. **Resumos... Ilhéus: SBFV**, 2001. p.137.

LAKSHMINARAYANA, S. Sapodilla and prickly pear. In: NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and subtropical fruits**. Westport: AVI, 1980. p.415-441.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G.; PARPIA, H.AB. Changes in polyphenols of sapota fruit (*Achras zapota* L.) during maturation. **Journal Science Food Agriculture**, v.20, p.651-653, 1969.

LAKSHMINARAYNA, S; MORENO-RIVERA, M.A. Proximate characteristics and composition of sapodilla fruits grown in Mexico. **Proceedings Florida State Horticulture Society**, v.92, p.303-305, 1979.

LAKSHMINARAYNA, S.; SUBRAMANYAM, H. Physical, chemical and physiological changes in sapota fruit (*Achras sapota* (Sapotaceae)) during development and ripening. **Journal of Food Science and Technology**, v.3, p.151-153, 1966.

LATIFAH, M.N. Effect of exogenous ethylene in the ripening of ciku (*Achras sapota*). In: INTERNANTIONAL CONFERENCE ON TROPICAL FRUITS, 1996, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.367-376, 1996.

LAZAN, H.; ALI, Z.M. Cell wall hydrolases and their potencial in the manipulation of ripening of tropical fruits. **ASEAN Food Journal**, New York, v.8, p.47-53, 1993.

LIMA, D.P. et al. Caracterização física e avaliação de rendimento do fruto do sapotizeiro (*Achras sapota*). **Ciência Agronômica**, v.21, p.51-57, 1990

LIMA, H.C. de. **Modificações de carboidratos estruturais e de enzimas pécticas em jabuticaba [plinia trunciflora (Berg) Kausel – Myrtaceae]**. 2002. 71p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, L.C. de O. **Tecido esponjoso em manga ‘Tommy Atkins’: Transformações químicas e bioquímicas no mesocarpo durante o armazenamento**. 1997. 147p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, M.A.C. et al. Conservação pós-colheita de melão Gália *Solar King* a temperatura ambiente sob influência de 1-MCP (1-metilclopreno) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HORTICULTURA, 2002, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia, SBH, 2002. CD-ROM.

LOHANI, S.; TRIVEDI, P.K.; NATH, P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. **Postharvest Biology and Technology**, v.1, p.1-8, 2004.

MARÍN, A.A. et al. Actividades mono e difenolasa en el extracto crudo del frut chicozapote (*Achras sapota*). In: FORO INSTITUCIONAL DEL POSGRADO EN ENGENIERIA BIOQUÍMICA, 2001, 2001. **Memórias...** Mérida: Instituto Tecnológico de Mérida, 2001. p.22.

MATHOOKO, F.M. et al. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-Methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.21, n.3, p.265-281, 2001.

MATHOOKO, F.M.; Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.7, n.1/2, p. 1-26, 1995.

McCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D. Modification of polyuronides and hemicelulose during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, v.76, p.303-308, 1989.

MICKELBART, M.V. Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In: _____. **Progress in new crops**. J. Janick: ASHS, 1996. p.439-446.

MIR, N.A. et al. 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, n.5, p.618-624, 2001.

MIRANDA, M.R.A. et al. Enzymes and pectin breakdown of sapodilla during modified atmosphere storage. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.45, p.18-21, 2001.

MIRANDA, M.R.A. Alterações fisiológicas e histológicas durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento refrigerado do sapoti. 2002. 136p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MIRANDA, M.R.A. et al. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p. 644-646, 2002.

MITCHAM, E.J.; McDONALD, R.E. Cell wall modification during ripening of 'Keit' and 'Tommy Atkins' mango fruit. **Journal American Horticulture Science**, v.117, p.919-924, 1992.

MOCTEZUMA, E.; SMITH, D.L.; GROSS, K.C. Effect of ethylene on mRNA abundance of three β -galactosidase genes in wild type and mutant tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.207-217, 2003.

MOHAMED, S.; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physicochemical characteristics of Ciku (*Achras sapota* L.) at various storage. **Journal Science Food agriculture**, v.70, p.231-240, 1996.

MOURA, R.J.M.; BEZERRA, J.E.F. **Cultivo do sapotizeiro (*Achras sapota*) em Pernambuco**. Recife: Secretaria de Agricultura de Pernambuco, 1982. 4p. (Instruções técnicas do IPA).

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

PANTÁSTICO, E.B. Structure of fruits and vegetables. In: _____. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical fruits and vegetables**. Westport: AVI, 1975. p.1-24.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. fruit, **Journal of the University of Bombay**, p.11-20, 1952.

PELAYO, C. et al. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.1, p.75-85, Apr. 2003.

PÉREZ, J.J.; SÁNCHEZ, A.; VILORIA, Z. Efecto del ácido 2-Cloroetil fosfónico sobre la respiración y características físicas en frutos de nísperos (*Manilkara sapotilla* L.), variedad Tiberio, durante la maduración. **Revista Facultad de Agronomía**, v.12, p.145-149, 1995.

PESIS, E.; FUCHS, Y.; ZAUBERMAN, G. Starch content and amylase activity in avocado fruit pulp. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.103, p.673-676, 1978.

POPENOE, W. The sapotaceous fruits. In: _____. **Manual of tropical and subtropical fruits**. New York: MacMillan, 1924. Cap. 11, p.334-340.

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1 – Methylcyclopropene on the postharvest qualities of ‘Shamouti’ oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.155-163, 1999.

PUROHIT, S.V. SINGHVI, A. Micropropagation of *Achras sapota* through enhanced axillary branching. **Scientia Horticulturae**, v.76, p.219-229, 1998.

RAMADAN, L. Et al. Acumulacion de azucares, perdida de textura y contenido de solidos solubles totales en nispero (*Achras sapota*) variedad Conchudo. **Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidade de Zulia**, Venezuela, v.6, n.2, p.744-757, 1983.

RANWALA, A.P.; SUEMATSU, C.; MASUDA, H. The role of α -galactosidades in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v.100, n.3, p.1318-1325, 1992.

RAO, M.M. et al. Developmental patterns and duracion of growth and development of some tropical and sub-tropical fruits under mild tropical rainy climate. **Mysore Journal of Agricultural Sciences**. Dharwar, v.29, p.149-154, 1995.

RASKIN, I. Salicylate, a new plant hormone. **Plant Physiology**, Rockville, v.99, n.3, p.799-803, 1992.

REDGWELL, R.R.; FISCHER, M. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perceptions. In: KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield, 2002. p.46-75.

RODRIGO, P.A Notes on the propagation of the "Ponderosa chico", **The Phillipine Journal Agriculture**, v.9, p.357-364, 1938.

ROY, S.K.; JOSHI, G.D. **Sapota**. In: MITRA, S.K. Postharvest physiology and storage os tropical and subtropical fruits. New York: CAB INTERNATIONAL, 1997. p.387-395

RUEHLE, G. **The sapotilla in Florida**. Florida: University of Florida, 1951. 10p. (Circular, 5).

RUPASINGHE, H.P.V. et al. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v.75, n.3, p.271-276, 2000.

SACHDEVA, S.; MEHRA, P.N. *In vitro* studies on *Achras sapota*: I. Callus and early embryogenesis. **Phytomorphology**, v.36, p.315-324, 1986.

SALADIE, M. et al. A new tomato mutant that prompts a reevaluation of the key determinants of tomato fruit softening and postharvest deterioration. In: **INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5th**, 2004, Verona. **Abstracts...** Verona: The Italian Postharvest working Group, 2004. p.5.

SALUNKHE, D.K.; DESAI, B.B. **Postharvest biotechnology of fruits, v.II**, 2.ed. New York: CRC, 1986, 147p.

SASTRY, M.V. Biochemical studies in the physiology of sapota part III- Minor chemical changes. **Indian Food Packer**, n.24, p.20-23, 1970.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K., Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Achras zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal Horticultural Science**, v.59, n.2, p.275-281, 1984.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A. D.; JOHN, P. Internal browning in cold-storage pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methycyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.167-170, Nov. 2001.

SEYMOUR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman-Hall, 1993. 453p.

SEYMOUR, G.B.; GROSS, K.C. Cell wall disassembly and fruit softening. **Postharvest News and Information**, London, v.7, n.3, p.45-52, 1996.

SHANMUGAVELU, R.G.; SRINIVASAN, C., Proximate composition of fruits of sapota cultivars (*Achras zapota* L.). **South Indian Horticulture**, v.21, n.3, p.107-108, 1973.

SIMÃO, S. Sapatizeiro. In: _____ **Manual de fruticultura**. São Paulo: Agronômica "CERES", 1971. Cap.17, p.501-508.

SISLER, E.C. et al. Compounds interacting with the ethylene receptor. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.553, p.159-162, 2001.

SISLER, E.C.; LALLU, N. Effect of diazocyclopentadiene (DACP) on tomato fruits harvested at different ripening stages. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.4, p. 245-254, 1994.

- 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.
- SITRIT, Y.; BENNETT, A.B. Regulation of tomato fruit polygalacturonase mRNA accumulation by ethylene: A re-examination. **Plant Physiology**, v.116, p. 1145-1150, 1998.
- SMITH, D.L.; GROSS, K.C. A family of at least seven beta-galactosidase genes is expressed during tomato fruit development. **Plant Physiology**, v.123, p.1173-1183, 2000.
- SUNDARARAJAN, S; MADHAVA-RAO, M.V.N. Studies on fruit development and quality in some varieties of sapota (*Achras sapota*). **South Indian Horticulture**, v.15, p.52-57, 1967.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Paredes celulares: estrutura, biogênese e expansão. In: _____. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. Cap.15, p.339-364.
- TIAN, M.S. et. al. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. **Plant Growth Regulation**, v.32, p.83- 90, 2000.
- TIEMAN, D.M.; HANDA, A.K. Reduction in pectinmethylesterase activity modifies tissue integrity and cation levels in ripening tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits. **Plant Physiology**, Baltimore, v.106, p.429-436, 1994.
- TUCKER, G. Introduction. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, S. E.; TUCKER, G.A. (Ed.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. Cap.1, p.255-266.
- VÉLEZ-CÓLON, R.; CALONI, I.B; GARRASTAZU, S.M. Sapodilla (*Manilkara sapota*) variety trials in Southern Puerto Rico. **Journal Agriculture University**, Puerto Rico, v.73, n.3, p.255-264, 1989.
- VILAS BOAS, E.V. de B. **Maturação pós-colheita de híbridos de tomate heterozigotos no loco alcobaca**. 1998. 105p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

WHITE, P. J. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.1995-2000, 2002.

WILLIAMS, A.H. The simpler phenolic substances of plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.8, n.7, p.385-389, 1957.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. New York: CAB International, 1998. 174p.

CAPÍTULO 2

CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE SAPOTI SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE 1-METILCICLOPROPENO.

RESUMO

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. Conservação pós-colheita de sapoti submetido a diferentes doses de 1-metilciclopropeno. In: _____. **Qualidade e bioquímica de parede celular de sapoti [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submetido ao 1-Metilciclopropeno.** 2005. p.41-78 Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*¹

O sapoti é uma fruta exótica, adaptada às condições edafoclimáticas do Brasil e de alta aceitação pelo mercado consumidor, devido ao seu sabor apreciável. No entanto, devido ao seu caráter perecível, requer o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao prolongamento de sua vida útil pós-colheita. Por se tratar de um fruto climatérico, o etileno é o responsável pelo desencadeamento do processo de amadurecimento. Inibidores da ação do etileno têm sido largamente utilizados como retardadores do amadurecimento de frutos. Dentre os inibidores, o 1-metilciclopropeno (1-MCP) tem se destacado pela sua eficiência, sem deixar resíduos nos alimentos. Entretanto, sua ação ainda é desconhecida em sapoti. O presente trabalho propôs-se a avaliar a eficiência de diferentes concentrações de 1-MCP na conservação pós-colheita do sapoti. Os frutos, provenientes do município de Jaguaruana, estado do Ceará, Brasil, foram colhidos no estágio fisiológico de maturação e tratados com 1-MCP (0, 100, 200 e 400nL.L⁻¹), por 12 horas e armazenado sob atmosfera modificada, temperatura de 25 ± 2°C e umidade relativa de 70 ± 5%. Aos 0, 4, 8, 11, 14, 17, 20 e 23 dias de armazenamento, realizaram-se avaliações sobre as seguintes variáveis: perda de massa, aparência externa, firmeza, cor da polpa, acidez titulável, pH, sólidos solúveis, açúcares solúveis totais (AST) e compostos fenólicos. Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram menor perda de massa, melhor aparência externa e maior acidez. Além disso, o 1-MCP retardou, nos frutos, a perda de firmeza, as alterações da cor da polpa e a degradação de compostos fenólicos. Não houve diferenças significativas em relação às variáveis AST e pH. Os tratamentos com 1-MCP proporcionaram um acréscimo de seis dias na vida útil pós-colheita dos frutos. As doses de 200 e 400nL L⁻¹ foram mais eficientes em relação à dose de 100nL L⁻¹ para manter a acidez titulável e retardar modificações da cor da polpa e perda de firmeza.

¹ Comitê Orientador: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (Orientador), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA-CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

ABSTRACT

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. Conservation postharvest of sapodilla submitted to 1-methylcyclopropene. In:____. **Quality and cell wall biochemistry of sapodilla [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submitted to 1-methylcyclopropene.** 2005. p.41-78. Thesis (Doctor's degree in Plant Physiology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*²

The sapodilla is an exotic fruit, adapted to Brazilian climatic environment, and highly acceptable by the market consumer, because of its appreciable taste. However, due to its perishable characteristics, it requests technologies related to prolong the postharvest lifetime. As a climacteric fruit, the mature start depends on the ethylene. Inhibitors of ethylene action have been used like fruit maturing retarders. Among the ethylene inhibitors, the 1-methylcyclopropene (1-MCP) is one of the most efficient and doesn't persist in foods, but its action is still unknown in sapodilla. The purpose of this work was to evaluate the effect of different doses of 1-MCP on sapodilla fruits postharvest lifetime. The fruits, originated from Jaguaruana, Ceará state, Brazil, were treated with 1-MCP (0, 100, 200 e 400 nL.L⁻¹), for 12 hours, stored under modified atmosphere, temperature 25 ± 2 °C, relative humidity 70 ± 5 %. At 0, 4, 8, 11, 14, 17, 20 and 23 days under stowage, were followed evaluations about the variables: mass loss, external appearance, firmness, pulp colour, titratable acidity, pH, soluble solids (SS), total soluble sugars (TSS) and phenolic compounds. Fruits treated with 1-MCP had less mass loss, best external appearance and higher acidity. In addition, the 1-MCP retarded, on fruits, firmness loss, pulp colour changes and phenolic compound degradation. There was no significant difference in TSS, SS and pH variables. The fruits under treatments with 1-MCP had more six days of postharvest lifetime. The 200 and 400 nL.L⁻¹ doses were more efficient than 100 nL.L⁻¹ dose to maintain titratable acidity and to retard pulp colour changes and loss firmness.

²Guidance Committee: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (Adviser), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA-CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A produção do sapotizeiro, geralmente, concentra-se em três meses do ano nos países produtores (Mickelbart, 1996). Porém, resultados de pesquisas desenvolvidas pela Embrapa no Nordeste do Brasil mostraram que a fertirrigação propiciou mudanças na produção do sapotizeiro, tornando-a produtiva durante todo o ano. Este novo cenário tem estimulado novos produtores, sobretudo o pequeno, pois propicia uma renda distribuída durante o ano e um abastecimento constante do mercado (Bandeira et al., 2003).

Os frutos necessitam de cuidados especiais na colheita, transporte e armazenamento, para que a qualidade seja mantida, tendo em vista que, até a comercialização, além das perdas metabólicas, os frutos podem sofrer danos de origem mecânica, fisiológica e fitopatológica.

O armazenamento refrigerado é muito eficiente em reduzir a velocidade das reações metabólicas, resultando em prolongamento da vida útil pós-colheita dos frutos. Entretanto, frutos tropicais, como o sapoti, são susceptíveis a danos pelo frio e não podem ser armazenados em temperaturas abaixo de 12°C por muito tempo (Huertas et al., 1999). À temperatura ambiente, este fruto geralmente demora oito dias para amadurecer e, logo em seguida senesce, resultando em uma vida útil muito curta para ser transportado e comercializado em mercados mais distantes.

O sapoti é um fruto climatérico (Morais et al., 2004), sendo o etileno o responsável pelo desencadeamento inicial e coordenação do processo de amadurecimento. Vários compostos inibidores da ação do etileno são utilizados na pós-colheita de frutos, retardando o amadurecimento. Dentre estes inibidores, o 1-metilciclopropeno (1-MCP) tem se destacado pela alta eficiência e por não deixar resíduos nos alimentos.

Pesquisadores têm estudado o efeito do 1-MCP em vários frutos climatéricos, tais como banana, pêra, maçã, mamão, manga, tomate, pêssego e abacate, com resultados satisfatórios quanto ao retardo do amadurecimento (Golding et al., 1998; Hofman et al., 2001; Baritelle et al., 2001; Jeong et al., 2002; Mostofi et al. 2004; Lurie & Weksler, 2004). No entanto, Blankenship & Dole (2003), em trabalho de revisão sobre 1-MCP, observaram uma grande variabilidade nas respostas fisiológicas obtidas e também na temperatura e concentração ótima de aplicação do produto, nas várias espécies avaliadas. Os autores relataram que estes fatos podem ser justificados pelo fato das espécies apresentarem sensibilidades diferentes para os receptores de etileno.

Na literatura não existe nenhuma informação sobre o efeito do 1-MCP em sapoti. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de diferentes concentrações de 1-MCP na conservação pós-colheita de sapoti em condições ambiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedência e colheita dos frutos

Os frutos utilizados neste experimento foram provenientes de plantio comercial, irrigado, localizado na Fazenda JAISA (Jaguaruana Agroindústria Sociedade Anônima), no município de Jaguaruana, estado do Ceará. A área do pomar tem como coordenadas geográficas 4°10' de latitude Sul e 38°17' de longitude Oeste. O clima da região classifica-se como BSwh, segundo Köppen.

Os dados meteorológicos médios ou totais, referentes ao ano que antecedeu a colheita, foram obtidos da Estação Meteorológica de Iguatu, CE (Embrapa Agroindústria Tropical) e encontra-se na Tabela 1.

A cultivar utilizada neste experimento foi a Itapirema-31, cujas mudas para instalação do pomar foram obtidas na Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA). O espaçamento das plantas do pomar é de 8,0m x 8,0m e a idade em torno de nove anos.

A colheita dos frutos foi realizada em janeiro de 2004, no período da manhã para minimizar perdas por transpiração, utilizando-se tesoura de poda, deixando-se, aproximadamente, 1cm de pedicelo. Os saptis foram colhidos no estágio de maturação fisiológica, observando-se características indicativas da maturação, como idade (seis meses da frutificação), massa máxima (em torno de 200 g), formato mais esférico e pouca granulosidade na casca (Araújo Neto et al., 2001; Miranda, 2002). Posteriormente, os frutos foram acondicionados em caixas de plástico, forradas com espuma de poliestireno e transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE, distante em torno de 200km do local de cultivo.

Tabela 1 – Dados meteorológicos do município de Iguatu-CE, durante o ano de 2003, que antecedeu a colheita dos frutos¹

| Mês/Ano | Temperatura do ar (°C) | | | Precipitação pluvial ² |
|-----------|------------------------|--------|-------|-----------------------------------|
| | Máxima | Mínima | Média | (mm) |
| janeiro | 35,6 | 23,2 | 29,4 | 256,2 |
| fevereiro | 34,0 | 21,7 | 27,8 | 22,0 |
| março | 35,9 | 23,3 | 29,6 | 0,4 |
| abril | 30,8 | 18,5 | 24,6 | 0,0 |
| maio | 32,2 | 19,1 | 25,6 | 166,9 |
| junho | 27,5 | 14,7 | 21,1 | |
| julho | 30,0 | 16,7 | 23,3 | 140,6 |
| agosto | 31,4 | 20,3 | 25,8 | 242,0 |
| setembro | 31,6 | 20,7 | 26,15 | 169,4 |
| outubro | 31,6 | 21,7 | 26,6 | 284,2 |
| novembro | 32,4 | 21,8 | 27,1 | 314,4 |
| dezembro | 34,8 | 22,2 | 28,5 | 63,0 |

Valores obtidos da estação meteorológica de Iguatu-CE/ Embrapa¹
Total mensal²

2.2 Instalação do experimento

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à uniformidade de tamanho, grau de maturação, sanidade e ausência de defeitos. Em seguida, foram lavados com detergente neutro e imersos por um minuto em solução de hipoclorito de sódio à concentração de 100mg L⁻¹ para sanificação e retirada do látex.

Um lote de 12 frutos foi analisado no dia da colheita e os demais frutos foram divididos em 28 lotes (quatro doses e sete tempos de avaliações), tratados com 0 (controle), 100, 200 e 400nL L⁻¹ de 1-MCP, por 12 horas, em

minicâmaras com volume de 186 litros, vedadas e mantidas a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$. O produto comercial do 1-MCP utilizado foi o *Smartfresh*®, na formulação de pó, contendo 0,14% do ingrediente ativo (Rohm & Hass, 2002). O produto foi colocado em frasco com septo na tampa para injeção de água deionizada, pois, quando o produto comercial é diluído na água, ocorre liberação do 1-MCP na forma de gás. Depois de colocada a água, o frasco foi introduzido na minicâmara por meio de abertura lateral e esta vedada imediatamente para evitar a perda do gás. Ao término do tratamento, as minicâmaras foram abertas e os frutos colocados em bandejas de poliestireno expandido, cada uma contendo quatro frutos e cobertos com filme de PVC (cloreto de polivinila) com espessura de 12μ . O filme de PVC foi utilizado para diminuir a desuniformidade de amadurecimento e reduzir a perda de massa do sapoti, pois foi observado por Morais et al. (2004), em trabalho anterior com sapoti sem utilização de filme, elevada perda de massa e desuniformidade de amadurecimento. Esta desuniformidade de amadurecimento ocorre pelo fato deste fruto apresentar dificuldade na definição do seu ponto de colheita, pois não ocorre mudança de cor e apenas pequena alteração na firmeza.

Os frutos foram armazenados nas mesmas condições do tratamento ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR) por 23 dias e as avaliações realizadas nos períodos de 0, 4, 8, 11, 14, 17, 20 e 23 dias de armazenamento.

2.3 Avaliações

As avaliações físicas e físico-químicas foram realizadas de imediato; já para as análises químicas, a polpa foi previamente processada e armazenada em freezer a -20°C , para, posteriormente, ser analisada. Para o processamento, foi utilizado um homogeneizador da marca Waring Blender, adicionando-se água destilada em quantidade equivalente à massa do fruto para facilitar a obtenção da

polpa, resultando em uma diluição 1:1 que foi considerada para efeito de cálculo dos resultados.

2.3.1 Físicas

Aparência externa - adotou-se uma escala subjetiva, de acordo com Miranda et al. (2002), com algumas alterações. A aparência externa foi avaliada de acordo com a incidência de manchas, infecção por fungos e enrugamento. As notas variaram de 1 a 5, com base na porcentagem dos frutos afetados: 1 = ausência de sintomas; 2 = 1 a 15%; 3 = 16 a 30%; 4 = 31 a 45% e 5 = mais de 45% dos frutos afetados. Frutos com notas superiores a 3,0 foram considerados inadequados para comercialização.

Perda de massa - obtida por meio da massa individual no dia da colheita dos frutos e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Firmeza - foi determinada utilizando-se um texturômetro digital computadorizado da marca *Stable Micro Systems*, modelo TA.XT2i equipado com ponteira de 6mm de diâmetro. Foram realizadas duas medições por fruto, em regiões opostas ao longo da área mediana do fruto. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

2.3.2 Físico-químicas e químicas

Cor da polpa - o fruto foi cortado em duas metades e feita a leitura da cor na parte interna de cada metade, utilizando-se um colorímetro marca Minolta, modelo CR-300, que expressa a cor por meio de três variáveis: L* (claridade) – indica a claridade da cor e varia de zero (totalmente preta) a 100 (totalmente

branco); cromaticidade - indica a intensidade da cor, sendo os valores próximos a zero em relação às cores neutras (cinza) e ao redor de 60 para cores vívidas; Ângulo Hue - indica a tonalidade da cor, quando próximo de zero a tonalidade é vermelha, de 90° é amarelo, de 180° é verde e de 270° é azul.

Acidez titulável - determinada por titulação da amostra com solução de NaOH 0,1M até o pH 8,1, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985), utilizando-se titulador automático Mettler DL 12. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico.

pH - medido por potenciômetro digital modelo Micronal B474, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Sólidos solúveis - determinados por leitura em refratômetro digital, modelo PR-100 Pallette da marca ATAGO, escala de 0° a 45°Brix, com compensação automática de temperatura (Association of Official Agricultural Chemists, 2002). Os resultados foram expressos em °Brix.

Açúcares solúveis totais - extraídos em álcool 80% e determinado utilizando-se o reagente antrona, conforme Yemn & Willis (1954). Partiu-se de 1,0g de amostra diluída para 50mL. Do filtrado obtido desta solução, retiraram-se 10mL para uma segunda diluição para 100mL de água. Uma alíquota de 0,1mL reagiu com 1,0mL de antrona por meio de aquecimento em banho-maria a 100°C por 8 minutos. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620 nm.

Compostos fenólicos - foram extraídos de acordo com Swain & Hillis (1959) e o doseamento segundo metodologia descrita por Reicher et al. (1981). Para cada

fração, pesaram-se 3,0g da amostra quando o fruto estava verde e 5,0g para o fruto maduro; adicionaram-se aproximadamente 50mL dos extratores: metanol PA, metanol 50% ou água, para extração respectiva de fenóis dímeros, oligoméricos e poliméricos. Na extração dos fenóis poliméricos, as amostras foram colocadas em banho-maria a 60°C, por 15 minutos. Para os outros tipos, o material foi submetido a refluxo por 15 minutos. Após a extração, todas as amostras foram agitadas por 15 minutos e, em seguida, filtradas a vácuo. O filtrado foi, então, evaporado até o volume aproximado de 5mL e diluído para 50mL. Para o doseamento, alíquotas de 0,5mL para o fruto verde e 5ml para fruto maduro foram retiradas da amostra e adicionadas a 2,5ml do reagente de Folin-Denis e 5ml de Na₂CO₃ 20%, em um balão volumétrico de 50ml, cujo volume foi completado com água destilada. As leituras foram feitas em espectrofotômetro, a 720nm, e os resultados expressos em porcentagem da matéria fresca.

2.4 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 4x8, correspondente a quatro concentrações de 1-MCP e oito tempos de armazenamento. Utilizaram-se três repetições com quatro frutos cada.

Os resultados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância. Quando houve interação significativa dos fatores, procedeu-se à análise de regressão polinomial para o fator tempo dentro de cada dose. Admitiram-se equações polinomiais até 3º grau, considerando-se aquelas de grau superior como desvio de regressão e coeficientes de determinação maiores ou igual a 0,70. As análises foram realizadas com o auxílio do “software” SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vida útil pós-colheita

O tratamento com 1-MCP retardou a senescência dos frutos, não havendo diferença entre as doses avaliadas para a aparência externa. As notas altas obtidas para aparência externa resultam de manchas escuras no fruto e incidência de fungo do gênero *Pestalotiopsis* em alguns frutos tratados ou não com 1-MCP; provavelmente, devido à alta umidade dentro das bandejas provocada pelo uso do filme de PVC (Figura 1), não houve sintoma de enrugamento. A identificação do fungo foi realizada pelo Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Agroindústria Tropical.

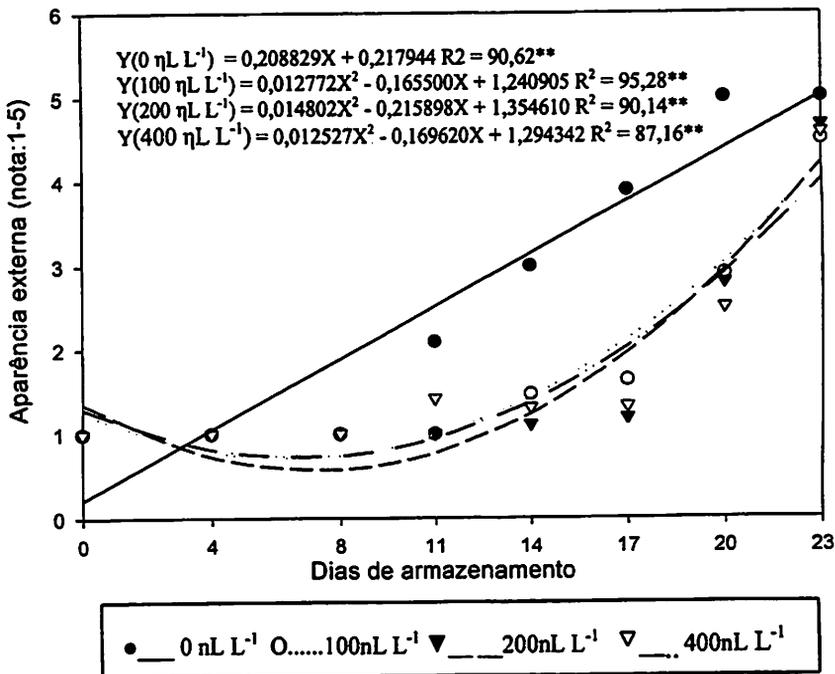


FIGURA 1 Aparência externa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400ηL L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR.

Os frutos controle mantiveram boa aparência externa para comercialização (nota $\leq 3,0$) até os 14 dias de armazenamento; já os frutos tratados com 1-MCP mantiveram esta aparência externa até os 20 dias (Figura 1). Porém, a sua aparência interna não foi comprometida e, aos 23 dias, os frutos tratados com 1-MCP ainda estavam internamente bons para consumo. Foram considerados como inadequados para comercialização frutos com notas superiores a 3,0.

Em abacates, cultivares Simmonds e Quintal, o tratamento com 1-MCP também retardou o amadurecimento por 4 e 3 dias, respectivamente (Jeong et al., 2002; Kluge et al., 2002). Em banana, cultivar Maçã, foi verificado um atraso no início do amadurecimento, de aproximadamente 8 dias, para dose de $50\eta\text{L L}^{-1}$ e de 10 dias para as doses 100, 150 e $200\eta\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP (Pinheiro, 2004).

Morais et al. (2004) observaram que a senescência inicia-se logo após o pico climatérico. Os autores ainda verificaram uma vida útil pós-colheita de 10 dias para sapoti, armazenado a temperatura de 26°C e 55% UR, sem atmosfera modificada. Porém, os frutos do presente trabalho foram submetidos a armazenamento sob atmosfera modificada, à temperatura de 25°C e 70% UR. Provavelmente, foi por este motivo que o controle atingiu 14 dias de vida útil pós-colheita.

3.2 Perda de massa

A interação entre os fatores tempo de armazenamento e dose foi significativa para perda de massa (Tabela A1- Anexo). Houve um aumento linear ao longo do armazenamento. Os frutos tratados com 1-MCP obtiveram valores menores para esta variável do que o controle, independente da dose de 1-MCP utilizada (Figura 2).

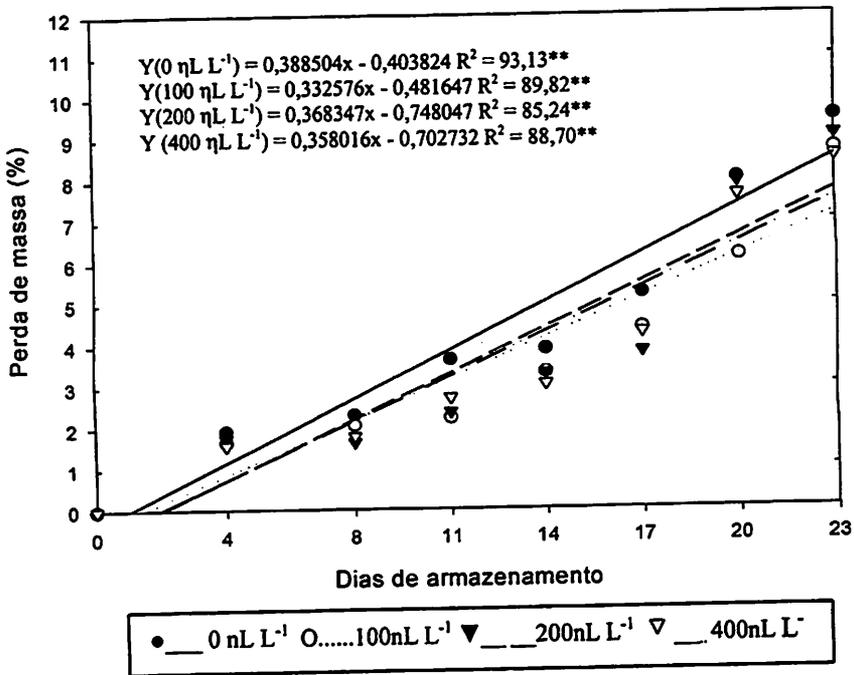


FIGURA 2 Perda de massa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 $\eta\text{L L}^{-1}$) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

O maior valor de perda de massa foi em torno de 10% para os frutos controle no final do armazenamento, valor ainda considerado baixo para sapoti armazenado a temperatura de 25°C . Isso porque Araújo Neto et al. (2001) constataram perda de massa de 15,6% no 8º dia de armazenamento, sob temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ e $55 \pm 5\%$ UR. Ainda foi observado por Morais et al. (2004) uma perda de massa de 22,3% aos 12 dias de armazenamento do sapoti, a temperatura de 26°C e umidade relativa de 55%. Os resultados obtidos no presente trabalho indicam que, provavelmente, o uso do filme de PVC tenha reduzido a perda de massa, evitando a aparência enrugada, bem comum em

sapotis armazenados sem atmosfera modificada e que apresentam uma perda de massa elevada.

O uso de atmosfera modificada tem sido eficiente na redução da perda de massa em frutos, pelo fato de manter uma alta umidade dentro da embalagem, pois, quanto menor a diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do fruto e a atmosfera circundante, menor será a transpiração e, conseqüentemente, a perda de massa. Miranda et al. (2002) verificaram, em frutos de sapotizeiro envoltos em filme de PVC e armazenados por duas semanas sob temperatura de 15°C, uma perda de massa de 1,2%, enquanto os frutos controle perderam 8,6%.

Apesar do tratamento com 1-MCP reduzir a perda de massa em sapoti, não houve diferença marcante entre as doses estudadas. Redução da perda de massa por influência do 1-MCP tem sido registrada em outros frutos, como maçãs (Brackman et al., 2000), abacaxi (Selvarajah et al., 2001) pêras (Baritelle et al., 2001) e abacates (Jeong et al., 2002).

Cocozza (2003) sugeriu que a redução da perda de massa, observada em mangas tratadas com 1-MCP, deve-se à redução também verificada na atividade respiratória.

Esta redução da perda de massa pelo 1-MCP em sapoti é um efeito bem satisfatório para comercialização, pelo fato de que, além do fruto ser comercializado por massa, ainda tem o problema do enrugamento, quando a perda de massa é superior a 10%, comprometendo a aparência e reduzindo o valor comercial.

3.3 Firmeza

O tratamento com 1-MCP foi efetivo em retardar a perda de firmeza dos frutos (Tabela A1- Anexo). A dose de 100nL L⁻¹ de 1-MCP apresentou valores médios de firmeza inferiores aos das doses de 200 e 400nL L⁻¹, que foram bastante semelhantes. Os frutos controle apresentaram uma redução brusca na

firmeza de 81,06N para 10,01N aos 8 dias de armazenamento, período no qual os frutos tratados com 1-MCP apresentavam valor médio de 77,00N (Figura 3). Este resultado é muito importante e viabiliza a utilização do 1-MCP, pois uma das grandes limitações da vida útil pós-colheita do sapoti é a brusca redução da firmeza.

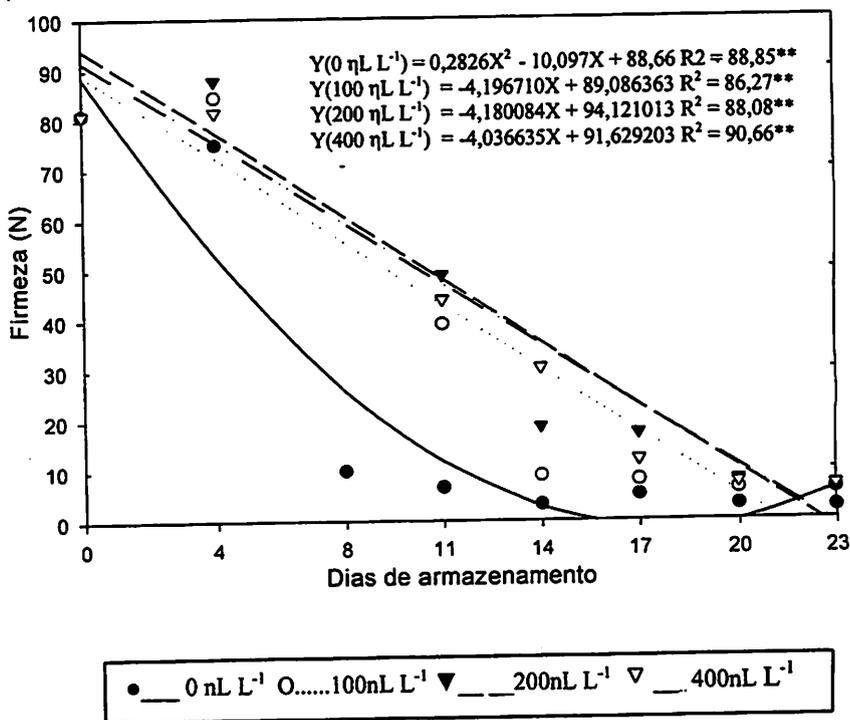


FIGURA 3 Firmeza de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 nL L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR.

Araújo Neto et al. (2001) também verificaram uma redução brusca da firmeza durante o amadurecimento e valores semelhantes aos do presente trabalho. Da mesma forma, Abdul-Karim et al. (1987) verificaram, na variedade Conchudo, uma redução de 64,0N para 5,5N após 12 dias de colhidos.

As doses de 200 e 400nL L⁻¹ de 1-MCP foram mais eficientes na manutenção da firmeza em relação à dose de 100nL L⁻¹, pois os frutos tratados com 100nL L⁻¹ de 1-MCP obtiveram firmeza de 8,92N aos 14 dias de armazenamento. Já os frutos tratados com 200 e 400nL L⁻¹ só alcançaram valores próximos deste aos 20 dias. Segundo observações pessoais, esta firmeza de em torno de 9,0N pode ser considerada adequada para consumo, pois o sapoti apresenta todas as demais características de fruto maduro. No final do período de armazenamento (23 dias), os frutos de todas as doses avaliadas apresentavam baixos valores de firmeza, tais como 2,36, 5,95, 5,98 e 6,67N, para as respectivas doses de 0, 100, 200 e 400nL L⁻¹ de 1-MCP. Esta observação sugere que novos sítios de ligação do etileno foram sintetizados e os frutos voltaram a responder ao etileno e desenvolver as mudanças necessárias para o amadurecimento.

A utilização de 1-MCP na retenção da firmeza tem-se mostrado eficiente para muitos frutos, tais como: damasco (Fan et al. 2000), banana (Pinheiro, 2004), morango (Jiang et al., 2001), ameixas (Argenta & Amarante, 2001), maçã (Mir et al., 2001) e manga (Garcia Estrada et al., 2001).

Miranda (2002) sugeriu que a perda da firmeza em sapoti parece estar associada à desorganização da parede celular e à redução da turgidez. Dessa forma, a eficiência do 1-MCP em manter a firmeza pode ser justificada pelo fato de algumas enzimas hidrolíticas da parede celular serem dependentes de etileno (Redgwell & Fischer, 2002). Ainda foi observado neste estudo que o 1-MCP reduz a perda de massa, provavelmente por manter a turgidez da célula, contribuindo para manutenção da firmeza.

A refrigeração é uma tecnologia comumente utilizada para retardar a senescência e, conseqüentemente, a redução da firmeza em muitos frutos. No entanto, em frutos tropicais como o sapoti, este tipo de tecnologia apresenta limitações, como as injúrias pelo frio, o que leva a sugerir o 1-MCP como uma

alternativa eficiente para retardar a senescência. Miranda (2002) observou, em sapoti, como sintoma de injúria pelo frio, o amaciamento irregular do fruto, com algumas porções firmes e outras completamente macias.

3.4 Coloração da polpa

Houve interação significativa entre os fatores estudados para as variáveis L^* (claridade), cromaticidade e ângulo hue (Tabela A2 - Anexo). Verificou-se que as variáveis L^* e ângulo hue decresceram durante o armazenamento de sapoti, independente do tratamento com 1-MCP. Entretanto, o tratamento com 1-MCP influenciou nas alterações da cor da polpa, sendo as doses de 200 e 400nL L^{-1} as mais eficientes (Figuras 4A e 4B). Estes resultados indicam que a dose de 100nL L^{-1} de 1-MCP pode não ter sido suficiente para bloquear todos os receptores de etileno e algumas respostas mais sensíveis a ele, como o metabolismo de pigmentos e o processo de amaciamento, também estudado neste experimento, não foram totalmente bloqueados com esta dose.

Para a variável cromaticidade, que indica a intensidade da cor, os frutos controle e os tratados com 100nL L^{-1} de 1-MCP apresentaram comportamento semelhante ao longo do armazenamento, diferente dos frutos tratados com as doses 200 e 400nL L^{-1} de 1-MCP, que também foram similares entre si. Um aumento no valor da cromaticidade da polpa somente a partir dos 11 dias de armazenamento, para os frutos tratados com as doses 200 e 400nL L^{-1} de 1-MCP, indicou um retardo no aumento da intensidade da cor, quando comparado com a dose 100nL L^{-1} e o controle (Figura 5).

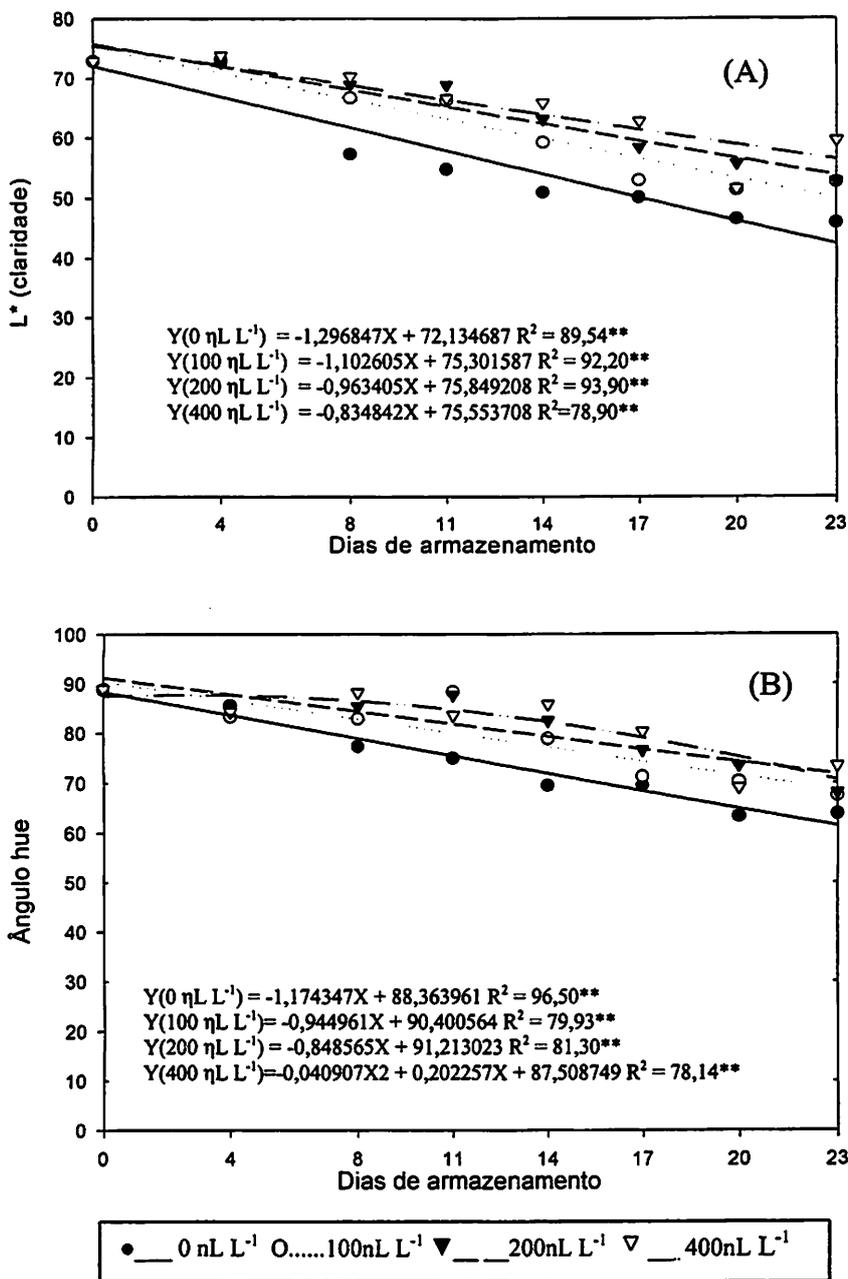


FIGURA 4 L* (claridade) (A) e ângulo hue (B) da cor da polpa de saptotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400nL L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR.

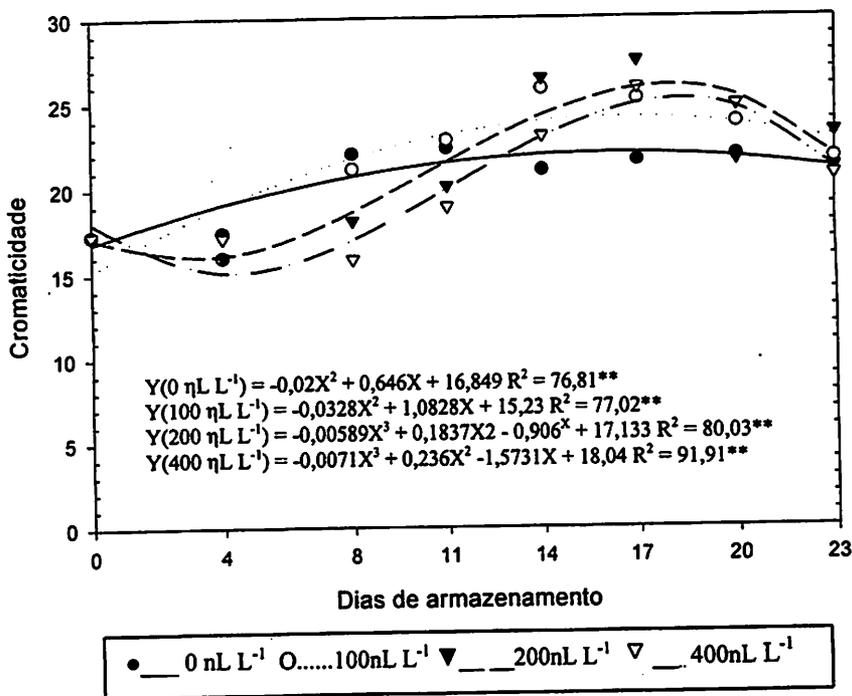


FIGURA 5 Cromaticidade da cor da polpa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 nL L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR.

Durante o armazenamento, a cor da polpa do sapoti alterou de creme para marrom. Neste período de tempo, o ângulo hue, que indica a tonalidade da cor, e L* (claridade), que indica a claridade da cor, decresceram de 88,86° para 63,80° e de 72,00 para 45,87, respectivamente, nos frutos controle. Apesar das diferenças entre as doses 100, 200 e 400 nL L⁻¹ de 1-MCP serem pequenas e, visualmente difíceis de detectar, a tonalidade da cor foi dependente da dose de 1-MCP aplicada.

Báez et al. (1997) também verificaram alterações na coloração da polpa de sapoti durante o armazenamento, obtendo valores de L*(claridade) semelhantes ao do presente trabalho no dia da colheita.

Retardo na evolução da cor durante o armazenamento de frutos tratados com 1-MCP tem sido verificado em muitos frutos climatéricos (Jeong et al., 2002; Dong et al., 2002; Kluge et al., 2002; Pinheiro, 2004) e não climatéricos, como laranja e lima ácida submetida ao 1-MCP (Porat et al., 1999; Jomori et al., 2003). A influência do 1-MCP na coloração tem sido atribuída ao seu efeito sobre a atividade de enzimas, como fenilalanina amônia liase e clorofilase, que participam do metabolismo de pigmentos (Jiang et al., 2001; Porat et al., 1999). Entretanto, Abdi et al. (1998) ressaltaram que a associação entre a alteração na cor e na produção de etileno depende do pigmento, tecido no qual é produzido e a espécie.

3.5 Acidez titulável e pH

A interação entre os fatores estudados foi significativa para acidez titulável, já para o pH, apenas o fator tempo foi significativo (Tabelas A1 e A4 - Anexo).

Houve uma redução da acidez titulável (AT) até os 17 dias de armazenamento (Figura 6). Segundo Wills et al. (1998), esta redução da acidez durante o amadurecimento de frutos deve-se à sua utilização na respiração. No final do armazenamento ocorreu um pequeno aumento (Figura 6), que pode ser justificado pela fermentação de açúcares que ocorre no início da senescência.

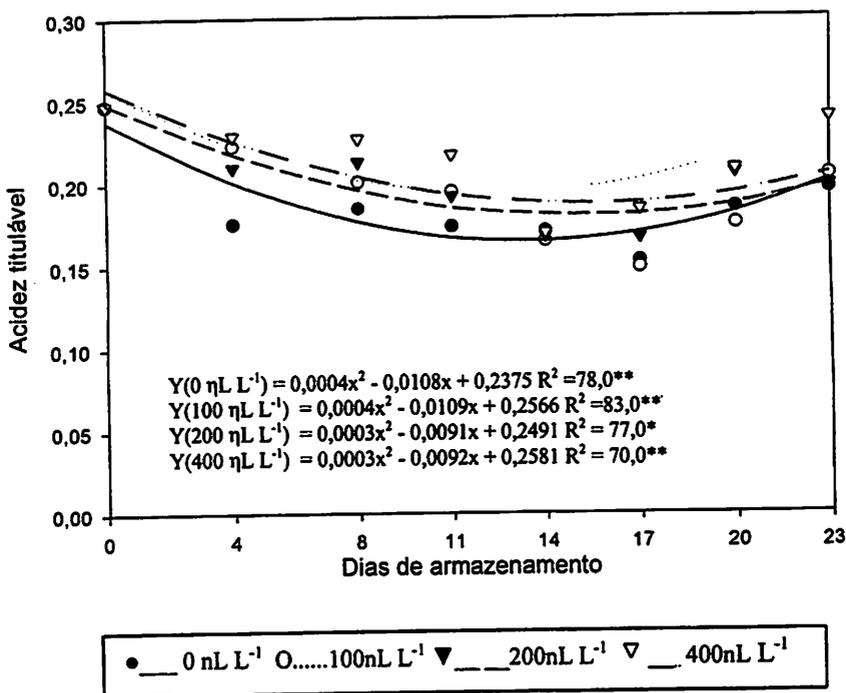


FIGURA 6 Acidez titulável (% ácido málico) de saptis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 nL L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR.

O tratamento com 1-MCP influenciou a AT, mas não alterou o pH. Quanto maior a dose de 1-MCP utilizada, menor foi a redução da AT. Dessa forma, a dose de 400 nL L⁻¹ foi a mais eficiente na manutenção da acidez, determinando maior teor de ácido málico no final do armazenamento (Figura 6).

Estudos com ameixa (Argenta e Amarante, 2001), maçã (Krammes et al., 2001), tomate (Wills e Ku, 2002) e damasco (Fan et al., 2000) também mostraram ação do 1-MCP na redução da AT durante o armazenamento. No entanto, existem outros trabalhos com maçã e damasco em que o 1-MCP não afetou a AT (Dong et al., 2002; Mir et al., 2001). Pôde-se observar em relatos

existentes na literatura que o efeito do 1-MCP sobre a AT é muito variado, dependendo da cultivar (Watkins et al., 2000), estágio de maturação (Fan et al., 2000) e outros fatores relacionados com a sensibilidade do fruto ao etileno e até mesmo às condições de aplicação do 1-MCP.

Os valores para pH decresceram de 5,34 para 4,86 durante o armazenamento (Figura 7), enquanto a alteração na acidez foi mais acentuada, reduzindo de 0,25% para 0,15% para o controle (Figura 6). Isto ocorre porque a alteração da AT não está diretamente relacionada ao pH, pois ele depende tanto da concentração de íons H^+ livres, como da capacidade tamponante do suco ou polpa. No sapoti, como a variação do pH é baixa, sugere-se que este fruto apresenta alta capacidade tamponante (Miranda, 2002).

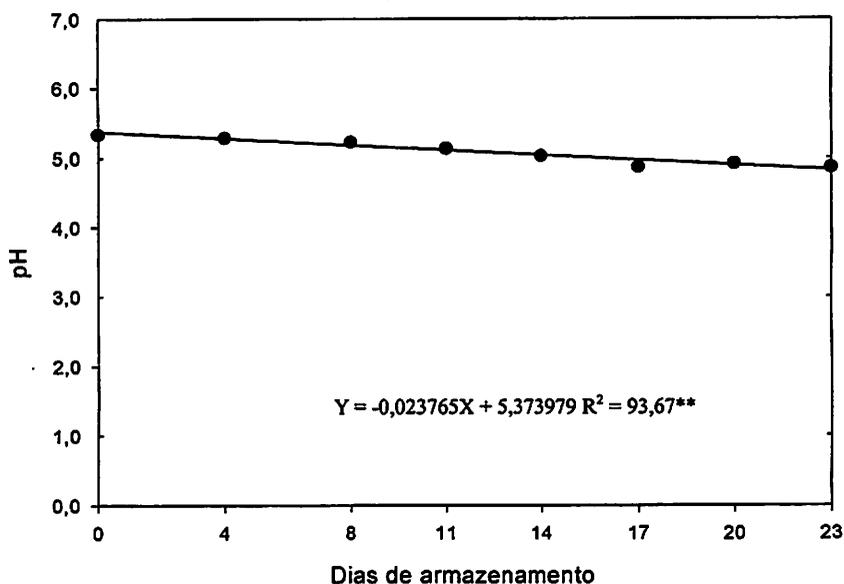


FIGURA 7 Valores médios de pH de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

Miranda et al. (2002) verificaram, em dois tipos de sapotis, valores de pH e AT semelhantes aos do presente trabalho. Os autores ainda constataram que a atmosfera modificada não apresenta influência sobre o pH e a AT. Em contraste, Araújo Neto et al. (2001) encontraram valores de AT superiores para a mesma cultivar estudada neste experimento.

Pathak & Bhat (1952) sugerem que a redução na acidez em sapoti também pode ser justificada pela descarboxilação dos ácidos orgânicos formando álcoois, produto característico de sapotis excessivamente maduros.

3.6 Sólidos solúveis e açúcares solúveis totais

A interação entre os fatores estudados não foi significativa para os sólidos solúveis. Entretanto, os fatores tempo e dose isolados foram significativos (Tabela A4 - Anexo).

O teor de sólidos solúveis (SS), durante o armazenamento, foi reduzido linearmente de 27,9 para 23,7°Brix (Figura 8A). Em outros trabalhos com sapoti já foi verificada esta pequena redução no teor de SS durante o armazenamento (Flores & Rivas, 1975; Miranda et al., 2002).

Os valores médios obtidos para sólidos solúveis foram 25,43, 24,87, 24,88 e 26,16°Brix, respectivamente, para o controle, 100, 200 e 400nL.L⁻¹ de 1-MCP. Como se pode observar, a dose de 400nL L⁻¹ apresentou teor de SS superior às doses de 100 e 200nL L⁻¹, entretanto, apesar de significativas, as variações foram muito pequenas (Figura 8B). Porat et al. (1999) não constataram influência do tratamento com 1-MCP no teor de SS em laranja.

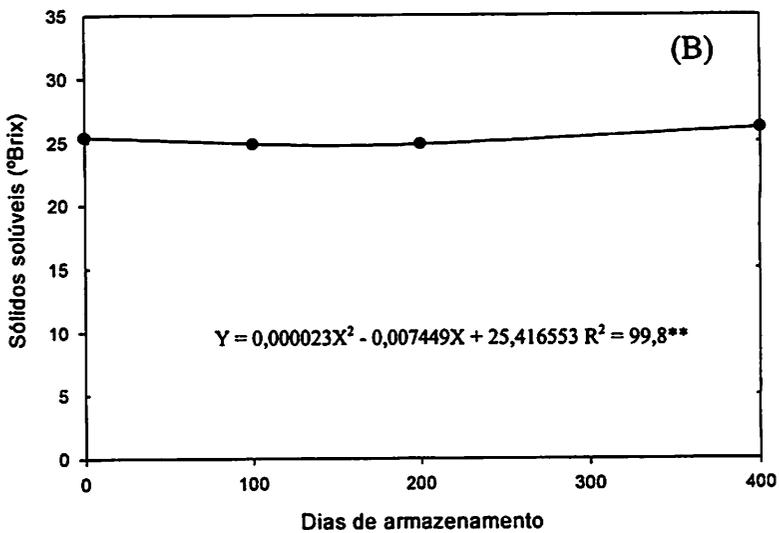
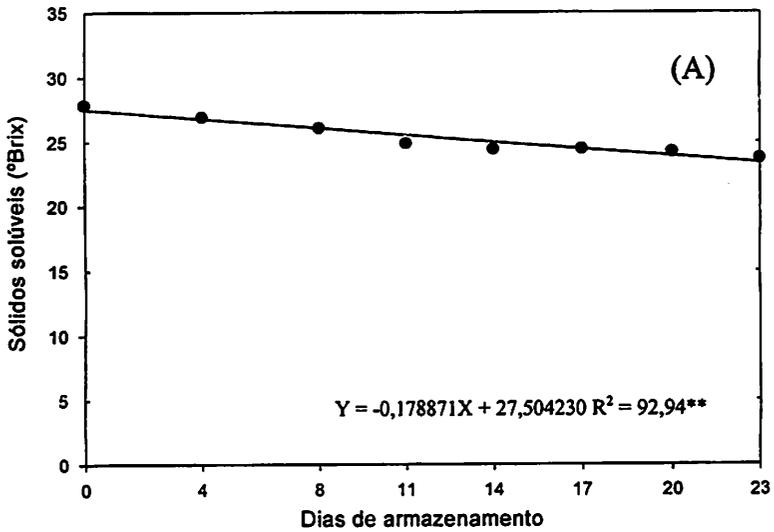


FIGURA 8 Sólidos solúveis de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR. Valores médios das diferentes concentrações avaliadas (A) e dos oitos tempos de armazenamento avaliados (B).

Watkins et al. (2000) relataram que os efeitos do 1-MCP sobre os teores de SS e açúcares nem sempre são positivos e que variam muito, inclusive, entre cultivares.

O tratamento com 1-MCP não apresentou efeito significativo para os teores de açúcares solúveis totais, apenas o fator tempo foi significativo (Tabela A4 - Anexo). Durante o armazenamento, o teor do mesmo aumentou de forma linear, de 16,07% para 20,37% (Figura 9). Araújo Neto et al. (2001) encontraram comportamento e valores semelhantes ao deste trabalho para esta mesma cultivar.

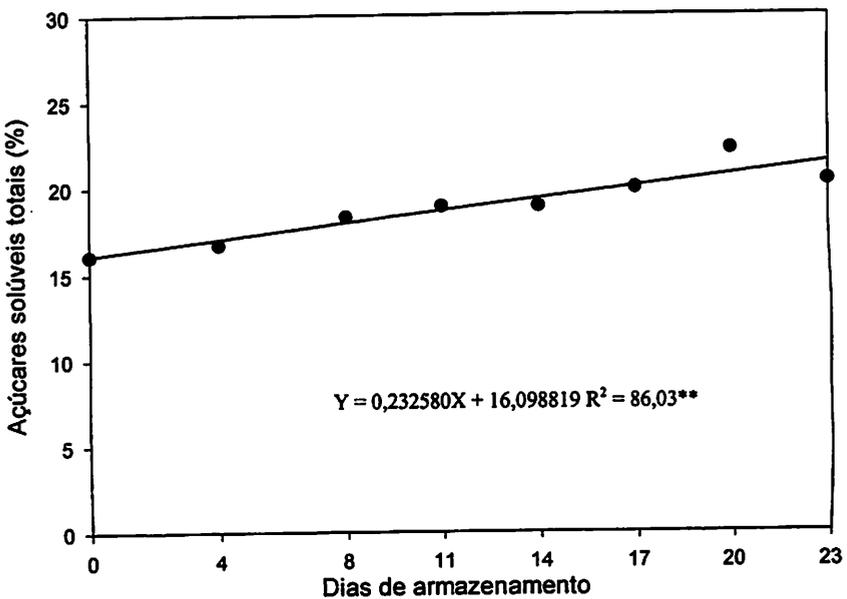


FIGURA 9 Valores médios de açúcares solúveis totais de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

Vários pesquisadores também verificaram um pequeno acréscimo de açúcares solúveis totais durante o armazenamento de sapoti (Báez et al., 1997; Araújo Neto et al., 2001; Miranda et al., 2003). Entretanto, Ramadan et al. (1983) relataram que não existe acúmulo de açúcares solúveis totais em sapotis após a colheita. Ainda foi observado por Miranda et al. (2002), em dois tipos de sapotis, que o armazenamento sob a atmosfera modificada não influencia os teores de SS e açúcares solúveis totais.

Báez et al. (1997) observaram um aumento no teor de açúcares totais de 16,5% no dia da colheita para 21% aos seis dias de armazenamento. Os açúcares redutores, frutose e glicose, também apresentaram aumento durante o armazenamento, alcançando valores de 6,2% e 8,3%, respectivamente. Já o açúcar não redutor reduziu no 2º dia (6,1% para 4,8%), mas, em seguida, começou a aumentar, atingindo teores de 6,2% aos seis dias de armazenamento. Os autores acrescentaram que, com o avanço do amadurecimento do fruto, a sacarose decresce, provavelmente, devido à sua inversão em glicose e frutose.

Os teores de açúcares correspondem, geralmente, de 50% a 80% dos SS, entretanto, contêm outros compostos solúveis em água, tais como ácidos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas (Costa et al., 2000; Vélez-Colón, 1989). Dessa forma, a discreta redução do teor de SS durante o armazenamento foi resultado da redução de algum outro composto dos SS, que não os açúcares solúveis totais, já que estes apresentaram um pequeno acréscimo com o armazenamento.

A relação SS/AT é determinante no sabor dos frutos. O valor médio da relação SS/AT verificada neste experimento foi de 127,22, comprovando o característico sabor extremamente doce do sapoti.

Pathak & Bhat (1952) relataram que, durante a maturação do sapoti, o seu látex é metabolizado e transformado em sacarose. Como é muito pouca a alteração na concentração de açúcares durante o armazenamento, provavelmente

o substrato para respiração está sendo proveniente do látex ou da solubilização dos componentes da parede celular. Ainda é importante acrescentar que Miranda et al. (2002) verificaram que, em sapoti, a quantidade de amido não diminui conforme a quantidade de açúcares redutores aumenta durante o armazenamento.

3.7 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos das três frações estudadas apresentaram decréscimo durante o armazenamento, atingindo valores bem próximos de zero. No dia da colheita, os frutos apresentavam 2,25%, 2,08%, 2,02% para as frações poliméricas, oligoméricas e dímeras, respectivamente, as quais, durante o armazenamento, reduziram, atingindo, no final, em média, 0,08% (Figuras 10A, 10B, 11).

O tratamento com 1-MCP retardou o decréscimo nas concentrações das frações dos fenólicos estudados, independente da dose utilizada. Os frutos controle atingiram baixo teor de fenólicos aos oito dias de armazenamento, tendo os frutos tratados com 1-MCP atingido valores semelhantes somente aos 14 dias de armazenamento (Figuras 10A, 10B, 11).

Sales (2002) também verificou retardo na redução dos compostos fenólicos em bananas tratadas com 1-MCP, concordando com outras pesquisas em que o 1-MCP retarda a produção de muitos compostos voláteis, que são fenólicos, em frutos como banana, maçã, melão e citros (Flores et al., 2002, Porat et al., 1999; Golding et al., 1999; Rupasinghe et al., 2000). Estes trabalhos concordam com Watkins (2002), o qual relatou resultados consistentes, comprovando que a via de produção dos compostos fenólicos é regulada pelo etileno.

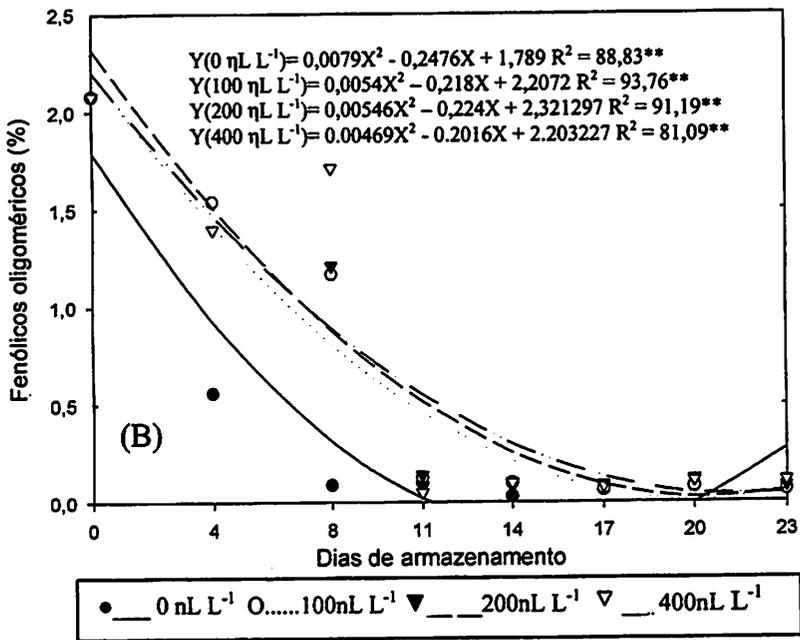
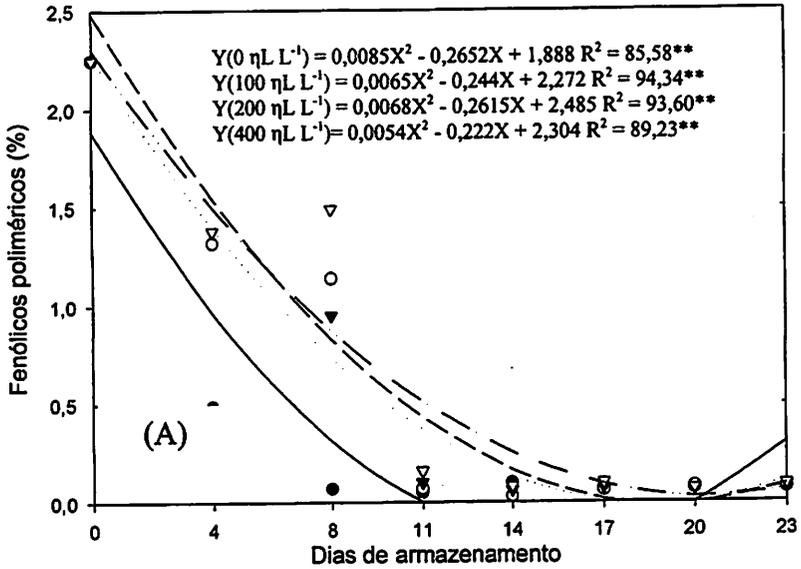


FIGURA 11 Compostos fenólicos poliméricos (A) e oligoméricos (B) da polpa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 $\eta\text{L.L}^{-1}$) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\% \text{UR}$.

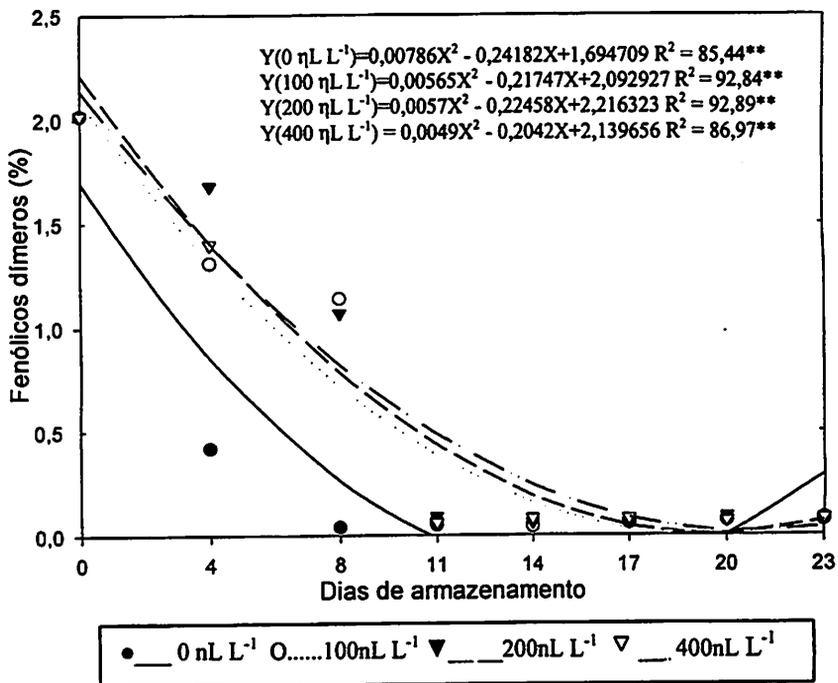


FIGURA 12 Compostos fenólicos dimeros da polpa de sapoti tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400ηL.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 ± 2°C e 70 ± 5% UR

A adstringência dos frutos é, até certo limite, determinada pelos compostos fenólicos e resulta da capacidade dos fenólicos, de massa molar intermediária (oligoméricos), formarem complexos insolúveis com proteínas e mucopolissacarídeos da saliva, reduzindo sua ação lubrificante (Goldstein & Swain, 1963; Cardoso et al., 2001).

Em sapoti imaturo, a alta adstringência deve-se à presença de compostos fenólicos, principalmente o tipo flavana. A adstringência depende do grau de polimerização e, durante a maturação, geralmente, ocorre polimerização desses

compostos e, conseqüentemente, diminuição da adstringência. A solubilidade também depende do grau de polimerização, sendo os polímeros melhor extraídos em água e menos em metanol PA; para aqueles de peso molecular menor acontece o contrário (Goldships & Swaps, 1963).

Lakshminarayana et al. (1969) verificaram uma polimerização das flavanas no final da etapa de crescimento do sapoti, acompanhada por uma redução na relação flavana/leucoantocianidina, destacando-se as leucoantocianidinas poliméricas como os principais constituintes fenólicos nos frutos maduros. No presente trabalho, a diferença entre as frações dos compostos fenólicos estudadas foi pequena, tendo uma pequena predominância da fração polimérica.

Esta redução dos compostos fenólicos durante o armazenamento também foi constatada em sapoti por Araújo Neto (2001) e Miranda et al. (2003). Taira et al. (1997) relataram que sapoti armazenado sob atmosfera modificada, como é o caso deste trabalho, pode produzir acetaldeído como resultado da atmosfera rica em CO₂. Este acetaldeído, mesmo em quantidade pequena, provoca a polimerização de fenólicos que, seguido pela complexação com os componentes solúveis da parede celular, resultaria no decréscimo dos compostos fenólicos.

3 CONCLUSÕES

Sob as condições experimentais estudadas, pôde-se concluir:

- a) os frutos tratados com 1-MCP apresentaram um acréscimo de seis dias na sua vida útil pós-colheita;
- b) os frutos tratados com 1-MCP apresentaram maior acidez, menor perda de massa, melhor aparência externa e maior ângulo hue e L* (claridade) da cor da polpa. Além disso, o 1-MCP retardou, nos frutos, a redução de firmeza, o aumento da cromaticidade e a degradação de compostos fenólicos;
- c) as doses de 200 e 400nL L⁻¹ foram mais eficientes do que a dose de 100nL L⁻¹ para retardar as alterações da cor da polpa e as reduções da firmeza e acidez titulável.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, N. et al. Responses of climateric and suppressed-climateric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p.29-39, 1998.

ABDUL-KARIM, M.N.B.; TARMIZI, S.A.; BAKAR, A.A. The physico-chemical changes in ciku (*Achras sapota* L.) of Jantung variety. **Pertanika**, v.10, n.3, p.277-282, 1987.

ARAUJO-NETO, S.E. et al. Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*), **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.45-49, 2001.

ARGENTA, L.C.; AMARANTE, C.V.T. Methycyclopropene supresses ethylene production and delays fruit ripening during shelf life and cold storage of plums. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus. **Resumos...** Ilhéus: SBFV, 2001a. p.137.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry**. 17th. ed. Washington, 2002. 1115p.

BANDEIRA, C.T. et al. **O cultivo do sapotizeiro**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 2003. 20p. (Circular Técnica, 13).

BARITELLE, A.L. et al. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.153-160, Nov. 2001.

BLANKENSHIP S.M.; DOLE J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.1, p.1-25, April 2003.

CARDOSO, M. G. et al. **Metabólicos secundários vegetais: visão geral química e medicinal**. Lavras: UFLA, 2001.81p. (Textos Acadêmicos).

COCOZZA, F.D.M. **Maturação e conservação de manga 'Tommy Atkins' submetida à aplicação pós-colheita de 1-metilciclopropeno**. 2003. 175f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas- SP.

COSTA, M. L. da. et al. Algumas características do fruto do saptizeiro Itapirema-31 durante o desenvolvimento e o armazenamento. **Caatinga**, v.13, p.15-18, 2000.

DONG, L.; LURIE, S.; ZHOU, H.W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.24, n.2, p.135-145, 2002.

FAN, X.; ARGENTA, L.; MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.135-142, 2000.

FAN, X.; BLANKENSHIP, S.M.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.6, p.690-695, 1999.

FLORES F. et al. Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. **Journal Experimental Botanic**, v.53, p.201- 206, 2002.

GARCIA-ESTRADA, R. et al. Efecto de 1-metilciclopropeno en la presencia de *Colletotrichum gloeosporoides* PENZ durante el mercadeo de frutos de mango. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 34, São Pedro, 2001. **Resumos... Fitopatologia Brasileira** v.26, Suplemento, agosto 2001. p.462.

GOLDING, J.B. et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.1, p. 87-98, Sept. 1998.

GOLDING, J.B. et al. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, Columbus, v.47, n.4, p. 1646-1651, 1999.

GOLDSHIPS, J.L.; SWAPS, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, v.2, p.371-384, 1963.

HOFMAN, P.J. et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1- methylcyclopene. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v.41, n.1, p.567-572, 2001.

HUERTAS, G.G.C.; MORENO, N.G.N.; SAURI, D.E. Conservacion refrigerada de chicozapote com calentamiento intermitente. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.258, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3.ed. São Paulo: IAL, v.1, 1985. 533p.

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

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; TERRY, L.A. 1-Methylcycloprene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.3, p.227- 232, Dec. 2001.

JOMORI, M.L.L.; KLUGE, R.A.; JACOMINO, A.P.; TAVARES, S. Conservação refrigerada de lima ácida 'Tahiti': uso de 1-metilciclopropeno, ácido giberélico e cera. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, 2003.

KLUGE, R.A. et al. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.895-901, Jul. 2002.

KRAMMES, J.G. et al. Effects of methylcyclopropene and wax coating on apple fruit ripening during shelf life. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., Ilhéus, 2001. **Resumos...** Ilhéus: SBFV, 2001. p.137.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G.; PARPIA, H.A.B. Changes in polyphenols of sapota fruit (*Achras zapota* L.) during maturation. **Journal Science Food Agriculture**, v.20, p.651-653, 1969.

LURIE, S.; WEKSLER, A. Effects of 1-methylcyclopropene on stone fruits. In: INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5th., 2004, Verona. **Abstracts ...** Verona: The Italian Postharvest working Group, 2004. p.5.

MICKELBART, M.V. 1996. Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In: _____. **Progress in new crops**. J. Janick: ASHS, 1996. p.439-446.

MIR, N.A. et al. 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, n.5, p.618-624, 2001.

MIRANDA, M.R.A. **Alterações fisiológicas e histológicas durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento refrigerado do sapoti**. 2002. 136p. Tese. (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MIRANDA, M.R.A. et al. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.644-646, 2002.

MIRANDA, M.R.A. et al. Armazenamento de frutos do sapotizeiro (*Manilkara Zapota* L.) sob atmosfera modificada e baixas temperaturas. **Revista Iberoamericana Tecnologia Postcosecha**, v.5, n.1, p.8-15, 2003.

MORAIS, P. L. D.de. et al. Atividade respiratória e qualidade pós-colheita de sapoti. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004. CD-ROM.

MOSTOFI, Y. et al. Effects of storage conditions and 1-Methylcyclopropene on some qualitative characteristics of tomato fruits. In: INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5th., 2004, Verona. **Abstracts...** Verona: The Italian Postharvest working Group, 2004. p.48.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. fruit, **Journal of the University of Bombay**, p.11-20, 1952.

PINHEIRO, A. C. M. **Qualidade pós-colheita de banana 'maçã' submetida ao 1-MCP**. 2004. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1 - Methylcyclopene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.155-163, 1999.

RAMADAN, L. et al. Acumulacion de azucares, perdida de textura y contenido de solidos solubles totales en nispero (*Achras sapota*) variedad Conchudo. **Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidade de Zulia**, Venezuela, v.6, n.2, p.744-757, 1983.

REDGWELL, R.R.; FISCHER, M. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perceptions. In: KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield, 2002. p.46-75.

REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M.R.; CORREA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.24, n.4, p.407-411, 1981.

ROHM AND HASS. **1-Metilciclopropeno (1-MCP)**. [SI]: Agrofresh, 2002. (Boletim Técnico).

RUPASINGHE, H.P.V. et al. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v.75, n.3, p.271-276, 2000.

SALES, A.N. de. **Aplicação de 1-Metilciclopropeno em banana 'prata-anã' armazenada sob baixa temperatura seguida de climatização**. 2002. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A.D.; JOHN, P. Internal browning in cold-storage pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methycyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.167-170, 2001.

SISLER, E.C.; BLANKENSHIP, S.M.; GUEST, M. Competition of cyclooctenes for ethylene binding and activity in plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.9, n.2, p.157-164, 1996.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*: The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of Food Science**, Chicago, v.54, n.2, p.311-314, 1959.

TAIRA, S.; ONO, M.; MATSUMOTO, N. Reduction of persimmon astringency by complex formation between pectin and tannins. **Postharvest Biology Technology**, v.12, p.265-271, 1997.

WATKINS, C. B. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control. In: KNEE, M. **Fruit Quality and its Biological Basis**. Sheffield Academic. Columbus. 2002. cap. 8, p. 180-207.

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

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, n.1, p.85-90, 2002.

WILLS, R. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. New York: CAB International, 1998. 174p.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone, **The Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.

CAPÍTULO 3

BIOQUÍMICA DA PAREDE CELULAR E AMADURECIMENTO DE SAPOTI SUBMETIDO AO 1-METILCICLOPROPENO

RESUMO

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. Bioquímica da parede celular e amadurecimento de sapoti submetido ao 1-metilciclopropeno. In: _____. **Qualidade e bioquímica de parede celular de sapoti [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submetido ao 1-Metilciclopropeno.** 2005. p.79-144. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*¹

Em sapoti, uma brusca redução na firmeza, quando o fruto amadurece, é um dos principais atributos de qualidade que limitam a sua conservação. A degradação dos polissacarídeos da parede celular primária e da lamela média, mediante a ação de várias enzimas hidrolíticas, é o principal processo responsável pelo amaciamento dos frutos. Em sapoti, os estudos acerca dos polissacarídeos de parede celular, até o momento, são restritos à degradação das substâncias pécicas. Em experimento anterior, verificou-se que 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um eficiente inibidor da ação do etileno, retardando a perda de firmeza de sapoti, o que sugere um estudo mais detalhado sobre a ação desse inibidor sobre o processo de degradação de componentes da parede celular. O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência de 1-MCP sobre transformações físicas, químicas e bioquímicas, que ocorrem durante o amadurecimento de sapoti, com ênfase na atividade das enzimas hidrolíticas da parede celular e nas alterações ocorridas nos polissacarídeos estruturais. Os frutos, provenientes do município de Jaguaruana, estado do Ceará, Brasil, foram colhidos no estágio fisiológico de maturação e tratados com 1-MCP (0 e 300nL.L⁻¹), por 12 horas e armazenados sob atmosfera modificada, temperatura de 25 ± 2°C e umidade relativa de 70 ± 5%, por 23 dias. A dose de 300nL L⁻¹ demonstrou ser eficiente em prolongar a vida útil pós-colheita do sapoti, inibindo parcialmente as alterações na cor da polpa e as reduções de acidez e firmeza. O retardamento da perda de firmeza dos frutos se deu em resposta à ação inibitória do 1-MCP sobre a atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase e β-galactosidase, resultando em menor solubilização de substâncias pécicas e menor degradação de celulose, hemicelulose, poliuronídeos e açúcares neutros.

¹ Comitê Orientador: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (Orientador), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA-CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

ABSTRACT

MORAIS, Patrícia Lígia Dantas de. Cell wall biochemistry and ripening of sapodilla submitted to 1-methylcyclopropene. In: _____. **Quality and cell wall biochemistry of sapodilla [*Manilkara sapota* (L.) Von Royen] submitted to 1-methylcyclopropene.** 2005. p. 79-144. Thesis (Doctor's degree in Plant Physiology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*²

In sapodilla, an abrupt reduction in the firmness, when the fruit ripens, it is one of the principal quality attributes that limit its postharvest lifetime. The degradation of the polysaccharides of the primary cell wall and middle lamella, in response to hydrolytical enzyme action, is the principal cause for fruit softening. Knowledge about cell wall polysaccharides, in sapodilla, is limited to pectin degradation. In experiment before, it has been observed that 1-Methylcyclopropene (1-MCP) is an efficient blocker to ethylene action, retarding the loss of firmness in sapodilla. It suggests a most particularized investigation about the 1-MCP action on degradation process of cell wall compounds. The purpose of this work was to evaluate the influence of the 1-Metilciclopropeno (1-MCP) on physical, chemical and biochemical changes that occur during sapodilla ripening, focalizing the cell wall hydrolytical enzyme action and structural polysaccharides changes. The fruits, originated from Jaguaruana, Ceará state, Brazil, were treated with 1-MCP (0 and 300 nL.L⁻¹), for 12 hours, stored under modified atmosphere, temperature 25 ± 2°C, relative humidity 70 ± 5 %, during 23 days. The 300 nL L⁻¹ dose was efficient to prolong the postharvest lifetime in sapodilla, inhibiting partially pulp colour changes and the reductions in acidity and firmness. The retarding of fruit loss firmnesses occurred in response to 1-MCP inhibitory action on pectinmethylesterase, polygalacturonase and β-galactosidase enzymes activity, resulting in less pectin solubilization and less cellulose, hemicellulose, polyuronideos and neutral sugars degradation.

² Guidance Committee: Luiz Carlos de Oliveira Lima – UFLA (adviser), Ricardo Elesbão Alves – EMBRAPA-CNPAT, José Donizeti Alves – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O sapotizeiro é uma espécie exótica que se adaptou muito bem no Brasil. Os seus frutos apresentam sabor e aroma bem apreciados pelos consumidores, chegando a atingir preços elevados no mercado interno. No Brasil, o maior consumo do sapoti é *in natura*, mas, em outros países, como no México, este fruto é muito utilizado na indústria para a fabricação de doces, refrescos, conservas, geléias e xaropes (Moura & Bezerra, 1982; Báez et al., 1997).

O desenvolvimento de tecnologias para manter a qualidade e melhorar o potencial de conservação de um produto depende, entre outros fatores, do conhecimento dos processos fisiológicos que regulam o seu amadurecimento e senescência. O etileno é o hormônio responsável pelo desencadeamento inicial e coordenação do processo de amadurecimento em frutos climatéricos. Estudos de expressão gênica têm demonstrado que o amadurecimento é um evento programado, envolvendo a expressão controlada de genes específicos e que alguns desses genes são dependentes do etileno (Giovannoni, 2001).

A utilização de inibidores da ação do etileno tem sido uma ferramenta importante para esclarecer o papel fisiológico desse hormônio no processo de amadurecimento dos frutos, assim como um tratamento pós-colheita para aumentar o potencial de conservação dos mesmos. O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um destes inibidores que têm se destacado pela alta eficiência, não deixando resíduos e tendo sido registrado para utilização em produtos alimentícios (Hamrick, 2001).

Em sapoti, uma brusca redução na firmeza, quando o fruto amadurece, é um dos principais fatores que limitam a sua conservação. A degradação dos polissacarídeos da parede celular primária e da lamela média mediante a ação de várias enzimas hidrolíticas, é o principal processo responsável pelo amaciamento dos frutos (Moctezuma et al., 2003; Saladie, 2004). Jeong et al. (2002)

verificaram, em abacates submetidos ao tratamento com 1-MCP, uma redução na atividade das enzimas hidrolíticas da parede celular, tais como poligalacturonase, pectinametilesterase, celulase, β e α -galactosidases, assim como uma redução na solubilização dos poliuronídeos nos frutos tratados com 1-MCP.

Em sapoti, os estudos acerca dos polissacarídeos de parede celular, até o momento, são restritos à degradação das substâncias pécticas. Em experimento anterior, verificou-se que o 1-MCP é um eficiente inibidor da ação do etileno, retardando a perda de firmeza de sapoti, o que sugere um estudo mais detalhado da ação desse inibidor sobre o processo de degradação de componentes da parede celular.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência de 1-MCP sobre transformações físicas, químicas e bioquímicas que ocorrem durante o amadurecimento de sapoti, com ênfase na atividade das enzimas hidrolíticas da parede celular e nas alterações ocorridas nos polissacarídeos estruturais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedência e colheita dos frutos

A colheita foi realizada em fevereiro de 2004. A origem dos frutos e os procedimentos da colheita foram semelhantes às descritas no item do Capítulo 2.

2.2 Instalação do experimento

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à uniformidade de tamanho, do grau de maturação, da sanidade e da ausência de defeitos. Em seguida, foram lavados, por cinco minutos, com o fungicida Benomil na concentração de 1.000 ppm, para evitar a incidência de fungo que ocorreu no experimento do Capítulo 2.

Um lote de 12 frutos foi analisado no dia da colheita e os demais foram divididos em 14 lotes (duas concentrações e sete tempos de avaliações), tratados com 0 (controle) e 300nL L⁻¹ de 1-MCP, por 12 horas, em minicâmaras com volume de 186 litros, vedadas e à temperatura de 25 ± 2°C e umidade relativa de 70 ± 5%. Esta concentração de 300nL L⁻¹ de 1-MCP foi selecionada com base em resultados de experimento anterior (Capítulo 2). O produto comercial do 1-MCP utilizado foi o *Smartfresh*®, na formulação de pó, contendo 0,14% do ingrediente ativo (Rohm & Haas, 2002). O produto foi colocado em frasco com septo na tampa para injeção de água deionizada, pois, quando o produto comercial é diluído na água, ocorre liberação do 1-MCP na forma de gás. Depois de colocada a água, o frasco foi introduzido na minicâmara por meio de abertura lateral e esta vedada imediatamente para evitar a perda do gás. Ao término do tratamento, as minicâmaras foram abertas e os frutos colocados em bandejas de poliestireno expandido, cada uma contendo quatro frutos, e cobertos com filme de PVC (cloreto de polivinila) com espessura de 12μ, a fim de diminuir a desuniformidade de amadurecimento entre os frutos que é bastante alta e

também reduzir a perda de massa que é elevada. Os frutos foram armazenados nas mesmas condições do tratamento ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR) por 23 dias e as avaliações realizadas nos períodos de 0, 4, 8, 11, 14, 17, 20 e 23 dias de armazenamento.

2.3 Avaliações

As avaliações física e físico-química foram realizadas de imediato; já para as análises químicas, a polpa foi previamente processada e armazenada em freezer a -20°C , para posteriores análises. O processamento foi realizado utilizando-se um homogeneizador da marca Waring Blender, adicionando-se água destilada em quantidade equivalente ao peso do fruto para facilitar a obtenção da polpa, resultando em uma diluição 1:1, que foi considerada para efeito de cálculo dos resultados. Para as análises enzimáticas, a polpa foi imediatamente congelada com nitrogênio líquido e armazenada em *ultra-freezer* a -80°C . A polpa para as análises dos componentes da parede celular foi armazenada em *freezer* a -20°C e, no dia seguinte, realizada a extração da parede celular. Posteriormente, o material para análises enzimáticas e dos constituintes da parede celular foi transportado do Laboratório de Pós-Colheita da EMBRAPA (Fortaleza, CE) para o Laboratório de Bioquímica de Frutos da UFLA (Lavras, MG), em caixas de isopor com gelo seco. Ao chegar ao laboratório, as amostras para as análises enzimáticas foram armazenadas em *ultra-freezer* -80°C e a dos componentes da parede celular foram armazenadas em dessecador, para posteriores análises.

2.3.1 Físicas

Aparência externa - adotou-se uma escala subjetiva de acordo com Miranda et al. (2002) com algumas alterações. A aparência externa foi avaliada de acordo

com a incidência de manchas, infecção por fungos e enrugamento. As notas variaram de 1 a 5, com base na porcentagem dos frutos afetados: 1=ausência de sintomas; 2=1% a 15%; 3=16% a 30%; 4=31% a 45% e 5=mais de 45% dos frutos afetados. Frutos com notas superiores a 3,0 foram considerados inadequados para comercialização.

Perda de massa - obtida por meio da massa individual do fruto no dia da colheita e na data da avaliação, utilizando-se balança semi-analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Firmeza - foi determinada utilizando-se um texturômetro digital computadorizado da marca *Stable Micro Systems*, modelo TA.XT2i equipado com ponteira de 6 mm de diâmetro. Foram realizadas duas medições por fruto, em regiões opostas ao longo da área mediana do fruto. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

2.3.2 Físico-químicas e químicas

Cor da polpa - o fruto foi cortado em duas metades e feita a leitura da cor na parte interna de cada metade, utilizando-se um calorímetro marca Minolta, modelo CR-300, que expressa a cor por meio de três variáveis: L^* - indica a claridade da cor, varia de zero (totalmente preta) a 100 (totalmente branco); cromaticidade - indica a intensidade da cor, sendo os valores próximos a zero em relação às cores neutras (cinza) e ao redor de 60 para cores vividas; ângulo hue - indica a tonalidade da cor e, quando próximo de zero, a tonalidade é vermelha, de 90° é amarelo, de 180° é verde e de 270° é azul.

Acidez titulável - determinada por titulação da amostra com solução de NaOH 0,1M até o pH 8,1, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985),

utilizando titulador automático Mettler DL 12. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico.

pH - medido por potenciômetro digital modelo Micronal B474.

Sólidos solúveis - determinados por leitura em refratômetro digital, modelo PR-100 Pallette da marca ATAGO, escala de 0° a 45°Brix, com compensação automática de temperatura (Association of Official Agricultural Chemists, 2002). Os resultados foram expressos em °Brix.

Açúcares solúveis totais - extraído em álcool 80% e determinado usando o reagente antrona, conforme Yemm & Willis (1954). Partiu-se de 1,0g de amostra diluída para 50mL. Do filtrado obtido desta solução, retiraram-se 10mL para uma segunda diluição para 100mL de água. Uma alíquota de 0,1mL reagiu com 1,0mL de antrona por meio de aquecimento em banho-maria a 100°C, por 8 minutos. Após este período, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e lidas em espectrofotômetro, a 620nm.

Pectinas total e solúvel - extraídas a partir de 5,0g da polpa homogeneizada em etanol 80%, segundo procedimento descrito por McCready & McComb (1952). Após uma noite de repouso, a amostra foi lavada por duas vezes com etanol 80%. A extração de pectina solúvel foi realizada com filtração, diluição para 50mL e agitação por uma hora. No caso da pectina total, ajustou-se o pH para 11,5 com solução de NaOH 1,0M para posterior repouso por 30 minutos. A seguir, o pH foi ajustado para 5,0-5,5 com ácido acético glacial, para permitir as condições ideais de hidrólise por meio da pectinase (E.C. 3.2.1.15) de *Aspergillus niger*, 1,0 U.mg-1 (Merck). As leituras foram feitas, da mesma forma para as duas variáveis, por colorimetria a 520 nm, pelo método do carbazol, segundo Bitter e Muir (1962). Para pectina total, fez-se uma diluição

de 1mL do extrato para 29mL de água e tomou-se 1mL para o doseamento. Já para pectina solúvel, tomou-se 1mL do extrato para 9mL de água e utilizou-se 0,5mL para o doseamento. Os resultados foram expressos em mg de pectina por 100g de polpa.

2.3.3 Bioquímicas

Atividade da pectinametilesterase - a extração e a determinação da atividade seguiram recomendação de Jen & Robinson (1984) com algumas modificações. Homogeneizaram-se 5,0g de amostra com 25mL de NaCl a 0,2N gelado, utilizando-se um politron. O homogenato resultante foi filtrado e o sobrenadante constituiu o extrato enzimático. Todo o procedimento foi realizado a 4°C. Para determinação da atividade, 5mL do extrato enzimático foram adicionados sobre 30mL de pectina cítrica 1% diluída em NaCl 0,1M. A taxa de desmetilação do extrato foi medida por titulação com NaOH 0,025M, mantendo-se o pH em 7,0 por 10 minutos. Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1 η mol de NaOH.min⁻¹.g⁻¹ massa fresca, sob as condições de ensaio. Os resultados foram expressos em unidade de atividade de pectinametilesterase por minuto.

Atividade da poligalacturonase – a extração foi realizada de acordo com a metodologia de Buecher & Furmanski (1978). Amostras de 5g foram trituradas em politron com 50mL de água destilada gelada a 4°C. O homogenato resultante foi filtrado em papel de filtro. O resíduo foi lavado mais uma vez com 20mL de água destilada (4°C) e, em seguida, ressuspensionado em NaCl 1,0N e submetido à homogeneização por um minuto. O pH foi ajustado para 6,0 com NaOH e o novo homogenato foi incubado a 4°C por uma hora. Depois de incubado, o

volume foi completado para 30mL com NaCl 1,0N e filtrado com papel de filtro. O sobrenadante constituiu a fonte enzimática. Todo o procedimento de extração foi realizado a 4°C. A determinação da atividade enzimática foi realizada segundo Pressey & Avants (1973). O extrato foi incubado com solução de ácido poligalacturônico 0,25% (lavado com etanol 80% antes do uso) em tampão acetato de sódio 37,5mM pH 5,0 a 30°C, por 3 horas. A reação foi interrompida em banho-maria fervente e os grupos redutores liberados determinados pela técnica de Somogyi modificada por Nelson (1944), usando glucose anidra como padrão. Os resultados foram expressos em unidade de atividade de poligalacturonase por minuto.

Atividade da β -galactosidase – a extração procedeu-se conforme Kitagawa et al. (1995). Amostras de 10g foram homogeneizadas com politron em 20mL de tampão fosfato acetato de sódio 0,1M pH 5,0, contendo polivinilpirrolidona (PVP) 1% e centrifugada a 10.000g por 15 minutos, a 4°C. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi lavado e centrifugado sob as mesmas condições anteriores, por duas vezes, com 20mL de tampão acetato de sódio 0,02M pH 5,0, contendo 2-mercaptoetanol 0,005M. O precipitado foi ressuspensionado em tampão acetato de sódio 0,02M pH 5,0, contendo NaCl 3M e agitado por 12 horas. Após a agitação, realizou-se nova centrifugação a 14.000rpm por 20 minutos e o sobrenadante foi submetido à diálise por 24 horas. Todos os procedimentos foram realizados a 4°C. A atividade da enzima foi determinada segundo Dey e Pridham (1969). Para tanto, o extrato foi incubado por 10 minutos a 37°C em solução do substrato p-nitrofenil β -glicopiranosídeo 0,003M diluído em tampão McIlwaine pH 4,0. A reação foi interrompida com carbonato de sódio 0,1M e as leituras realizadas em espectrofotômetro, a 400nm. Considerou-se uma unidade de atividade enzimática equivalente a quantidade de enzima capaz de aumentar a

absorbância em 0,001 unidade a 400nm. Os resultados foram expressos em unidade de atividade de β -galactosidase por minuto.

2.3.4 Compostos da parede celular

Extração do material de parede celular – a parede celular foi extraída do tecido pericárpico segundo descrito por Magalhães et al. (1996) com algumas modificações. Em torno de 60g de polpa de cada amostra foram triturados em politron com 70mL de etanol 80% a quente e centrifugada (6.000xg por 12 minutos.). Repetiu-se o procedimento anterior e descartou-se o sobrenadante. O resíduo foi lavado com 100mL de água destilada, centrifugado nas mesmas condições anteriores e descartado o sobrenadante. Ao material foram adicionados 80mL de tampão 50mM de KH_2PO_4 e NaH_2PO_4 , ajustando-se o pH para 4,5 e feita a desamidação acrescentando-se amiloglicosidase (EC 3.2.1.3). Após 24 horas sob agitação em banho-maria (55°C), o material foi submetido à fervura por 5 minutos, resfriado em banho de gelo, novamente levado à centrifugação e os sobrenadantes descartados. No resíduo, foi realizado teste com KI/I_2 para confirmação da ausência de amido. Posteriormente, o resíduo foi lavado três vezes com 50mL de clorofórmio:metanol (1:1) e mais três vezes com 50mL de acetona, seguida de secagem à temperatura ambiente.

Hemicelulose – amostras de 50mg do material de parede celular foram solubilizados com 3mL de ácido trifluoroacético (TFA) e deixadas por duas horas em bloco digestor a 120°C. Em seguida, completou-se o volume para 50mL com água destilada e filtrou em papel de filtro. Os açúcares neutros presentes no sobrenadante foram determinados colorimetricamente pelo método de antrona (Yemm & Willis, 1954). Tomaram-se 2 mL do extrato e diluiu-se

com 8mL de água destilada; e, para o doseamento, utilizou-se 1mL. Os resultados foram expressos em porcentagem de hemicelulose na parede celular.

Poliuronídeos – amostras de 50mg do material de parede celular foram digeridos em 3mL de H₂SO₄ 72% por duas horas. Em seguida, completou-se o volume para 50mL com água destilada e filtrou em papel de filtro. O sobrenadante foi utilizado para o doseamento dos ácidos urônicos, pelo método do carbazol (Bitter & Muir, 1962). Tomou-se 1mL do extrato e diluiu-se com 9mL de água destilada; para o doseamento, utilizou-se 1mL. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácidos urônicos na parede celular.

Derivatização dos açúcares neutros da parede celular – foi conduzida seguindo as recomendações de Albersheim et al. (1967). Amostras de 5mg de parede celular foram colocadas em tubos de ensaio rosqueados; adicionaram-se, como hidrolizante, 500µL de ácido trifluoroacético (TFA) a 2N (contendo 200µg de inositol) e vedou-se. Os tubos foram aquecidos por uma hora a 121°C em ‘block heater’ (aquecimento a seco). Em seguida, evaporou-se o TFA com o auxílio de um exaustor e um banho-maria 45°C, e adicionou-se 0,5mL de metanol que foi também evaporado por exaustão. Para redução dos polissacarídeos, adicionaram-se 150µL de hidróxido de amônia 1N, contendo 10mg de borohidreto de sódio para 1mL de hidróxido de amônia (recém-preparada). Misturou-se levemente e manteve-se à temperatura ambiente por uma hora. Adicionaram-se algumas gotas de ácido acético P.A até deixar de efervescer e evaporou-se junto com a amônia (exaustão). Acrescentaram-se 500µL de metanol:ácido acético (9:1). Secou-se e repetiu-se esta operação por quatro vezes. Adicionaram-se 500µL de metanol e repetiu-se a operação por cinco vezes. Para acetilação dos polissacarídeos, adicionaram-se 150µL de anidrido acético P.A e selou-se o tubo. Manteve-se a 121°C, por três horas, em

'block heater'. Depois de resfriado, secou-se (exaustão) e adicionou-se 500 μ L de metanol. Secou-se (exaustão) e repetiu-se por três vezes a última operação.

Cromatografia gasosa dos açúcares neutros - as amostras derivatizadas foram diluídas com 200 μ L de acetona e injetados 2 μ L em cromatógrafo a gás modelo VARIAN 3800 com coluna capilar OV-DB 225, 0,25mm de diâmetro interno e 25m de comprimento, acoplado a um integrador. Os gases utilizados foram o hidrogênio, como gás de queima, o ar sintético como mantedor da chama e o "make up", uma mistura de hidrogênio e nitrogênio (30mL.min⁻¹). A pressão da coluna foi de 21psi, o fluxo da coluna 1,0mL.min⁻¹ e a do gás de arrast, 30mL.min⁻¹. Foram utilizadas as seguintes temperaturas: coluna 225°C, injetor 250°C e detector 300°C. Utilizou-se como padrão uma mistura dos açúcares ramnose, fucose, arabinose, xilose, manose, galactose, glucose e inositol (padrão interno), todos na concentração 1mg.mL⁻¹ (De Vetten & Huber, 1990).

2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x8, correspondente ao controle e uma dose de 1-MCP e oito tempos de armazenamento. Utilizaram-se três repetições com quatro frutos cada.

Os resultados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância. Quando houve interação significativa dos fatores, procedeu-se à análise de regressão polinomial para o fator tempo dentro de dose. Admitiram-se equações polinomiais até 3º grau, considerando aquelas de grau superior como desvio de regressão e coeficientes de determinação maiores ou igual a 0,70. As análises foram realizadas com o auxílio do "software" SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vida útil pós-colheita

As notas para aparência externa dos frutos aumentaram durante o armazenamento, tendo o tratamento com 1-MCP retardado a sua senescência. Apesar de ter sido realizado tratamento com o fungicida Benomil, antes do armazenamento, ainda houve incidência de fungo do gênero *Pestalotiopsis*, mas em menor intensidade do que o verificado no experimento do Capítulo 2. A aparência externa limitou a vida útil dos frutos controle em 15 dias e dos tratados com 1-MCP em 21 dias (Figura 1). Este aumento em um dia na vida útil em relação ao experimento anterior deve-se ao fato do fungicida utilizado ter controlado parcialmente a incidência de fungo e, conseqüentemente, mantido os frutos com boa aparência por mais tempo. Foram considerados inadequados para comercialização os frutos com notas superiores a 3,0.

Saltveit (1999) relatou que o etileno influencia na aparência do fruto, pelo fato deste hormônio acelerar o amadurecimento e, conseqüentemente, a senescência. Dessa forma, no presente trabalho, o 1-MCP foi capaz de bloquear a ação do etileno e manter o fruto com uma boa aparência por mais tempo.

Harima et al. (2003) também constataram, em caqui, que o tratamento com 1-MCP prolonga a vida útil pós-colheita dos frutos. No entanto, acrescentaram que a eficiência do tratamento depende da concentração, do tempo de exposição ao produto e tempo da colheita ao início do tratamento. No caso do caqui, o tratamento com $1.000\eta\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP bloqueou a ação do etileno, porém, apenas durante quatro dias após o tratamento, à temperatura ambiente. Após este período, novos sítios receptores são produzidos e o fruto volta a responder ao hormônio. É importante ressaltar que a eficiência do

inibidor do etileno (1-MCP) depende da capacidade de cada espécie de sintetizar novos receptores (Sisler & Serek, 1997).

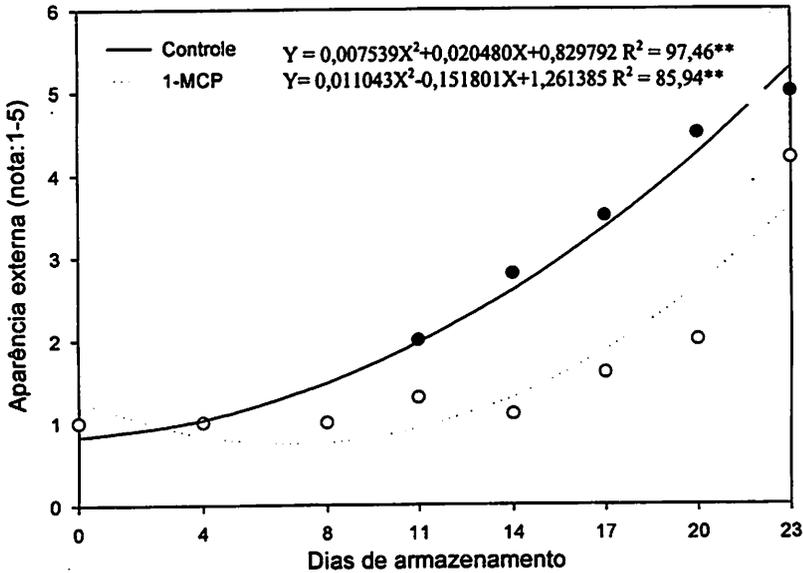


FIGURA 1 Aparência externa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

Pesquisas têm constatado que o sapoti pode levar de 5 a 13 dias para amadurecer à temperatura ambiente, dependendo da cultivar e das condições de armazenamento (Flores & Rivas, 1975; Lakshiminarayana, 1980; Roy & Joshi, 1997).

O uso de atmosfera modificada em sapoti tem mostrado vários benefícios, tais como redução da perda de massa, redução nos sintomas de injúrias pelo frio, uniformização da maturação e retardo do amadurecimento (Mohamed et al., 1996; Miranda et al., 2002). A atmosfera modificada pode ter

retardado o amadurecimento dos frutos do presente trabalho, pois, sem atmosfera modificada, geralmente, verifica-se uma vida útil menor do que 14 dias para sapoti, armazenado nas mesmas condições de temperatura deste experimento. Bojappa & Reddy (1990) verificaram retardo no amadurecimento de sapotis submetidos a tratamento térmico e embalados com filme plástico de polietileno, no entanto, houve grande contaminação por fungo.

A refrigeração também é muito eficiente em retardar o amadurecimento e a senescência de frutos, pelo fato de reduzir a velocidade das reações metabólicas. No entanto, para frutos tropicais, como o sapoti, temperatura abaixo de 12°C prolongou a vida útil em, no máximo, 18 dias, pois, a exposição deste fruto por mais tempo a baixas temperaturas provocou injúrias pelo frio.

3.2 Perda de massa

Para perda de massa, o tratamento com 1-MCP isoladamente não foi significativo, no entanto, a interação entre o tratamento com 1-MCP e os tempos de armazenamento foi significativa (Tabela B2, Anexo). A perda de massa apresentou comportamento linear e correlacionou-se positivamente com o tempo de armazenamento (Figura 2).

A diferença na perda de massa, observada entre os frutos controle e os tratados com 1-MCP foi pequena (Figura 2). Na literatura, o efeito do tratamento com 1-MCP sobre a perda de massa ainda não é bem definido. Existem trabalhos em que o 1-MCP reduziu a perda de massa em alguns frutos (Selvarajah et al., 2001; Jeong et al., 2002). No entanto, também se tem constatado, em alguns casos, como em laranja, que o tratamento com 1-MCP não apresenta nenhum efeito sobre a perda de massa (Porat et al., 1999). Ainda existem casos, como em damasco, em que o tratamento com 1000nL L⁻¹ de 1-MCP aumentou a perda de massa (Fan et al., 2000).

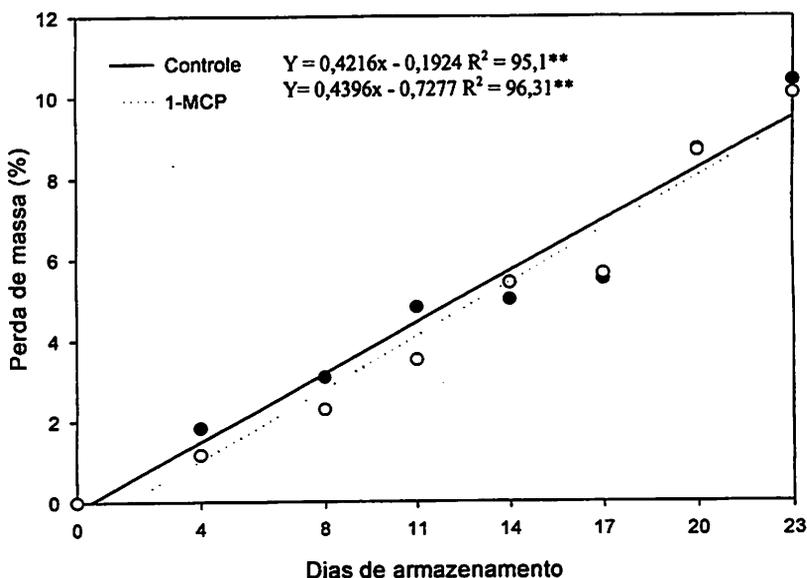


FIGURA 2 Perda de massa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

A redução no teor de água provocada pela diferença de pressão de vapor entre o fruto e o ambiente é o principal fator responsável pela perda de massa durante o transporte e armazenamento dos frutos. Porém, a respiração também contribui. Esta redução da perda massa pelo tratamento com 1-MCP pode ser justificada por uma redução na atividade metabólica do fruto, a qual, geralmente, é constatada em frutos tratados com 1-MCP (Jeong et al., 2002; Coccozza, 2003).

Os valores para perda de massa foram inferiores aos verificados em outros trabalhos com sapotis, armazenados sob atmosfera regular (Flores e Rivas, 1975; Araújo Neto et al., 2001). Estes resultados sugerem que a atmosfera modificada reduziu a perda de massa, provavelmente pelo fato de manter uma alta umidade dentro da embalagem, diminuindo a transpiração.

Morais et al. (2004), trabalhando com duas cultivares de sapoti ('BRS-227' e 'BRS-228'), verificaram uma perda de massa que alcançou 22,3%, aos 12 dias de armazenamento, à temperatura de 26°C e umidade relativa de 55%. Esta perda de massa provocou enrugamento dos frutos, comprometendo sua aparência. Chitarra & Chitarra (1990) relataram que, apesar da desidratação pós-colheita não influenciar significativamente nas reações bioquímicas que ocorrem durante o amadurecimento, a mesma apresenta grande importância comercial, já que os frutos são comercializados por massa e, em alguns casos, como no sapoti, ela pode comprometer a aparência.

3.3 Coloração da polpa

A interação entre os fatores tratamento com 1-MCP e tempo de armazenamento foi significativa para L* (claridade), cromaticidade e ângulo hue da polpa (Tabela B1 - Anexo). O tratamento com 1-MCP foi eficiente em retardar as alterações da cor da polpa, conforme os resultados obtidos para as três variáveis (Figuras 3A, 3B e 4).

De acordo com os valores de L*, que representam a claridade da cor, a mesma escureceu com o amadurecimento e os tratados com 1-MCP mantiveram a cor da polpa mais clara do que os frutos controle. Durante o amadurecimento, a cor da polpa do sapoti alterou de creme para marrom, o que pode ser verificado no aumento da cromaticidade, que define a intensidade da cor e redução do ângulo hue, que define a tonalidade da cor. Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram uma cor marrom com tonalidade mais para o amarelo e mais vívida, com os frutos controle demonstrando um marrom com tonalidade mais para o vermelho e menos intensa.

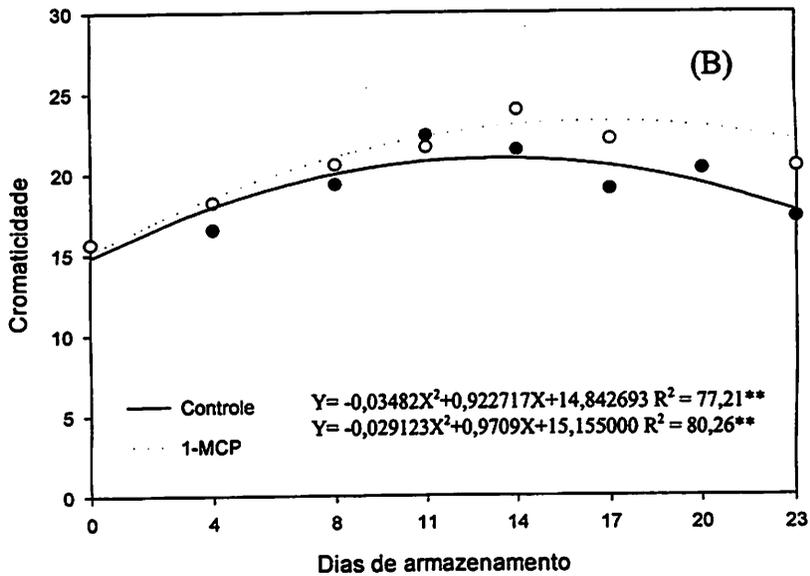
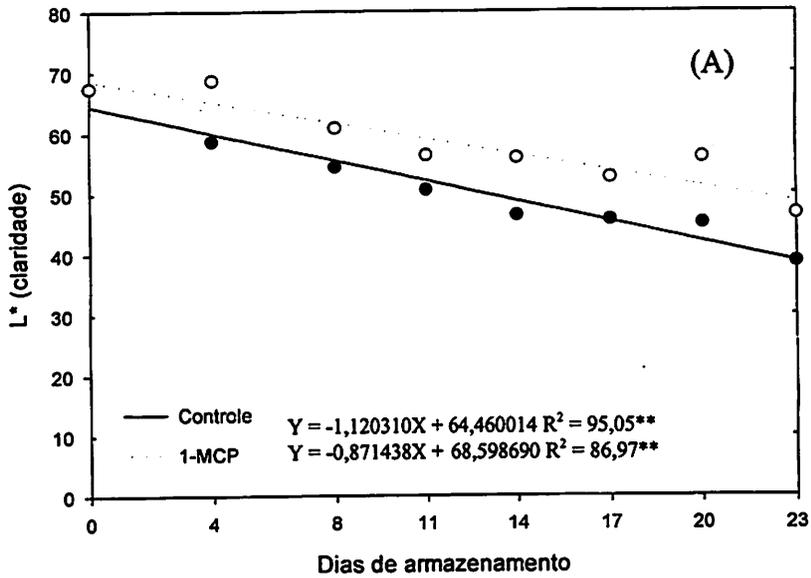


FIGURA 3 L* (A) e Cromaticidade (B) da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

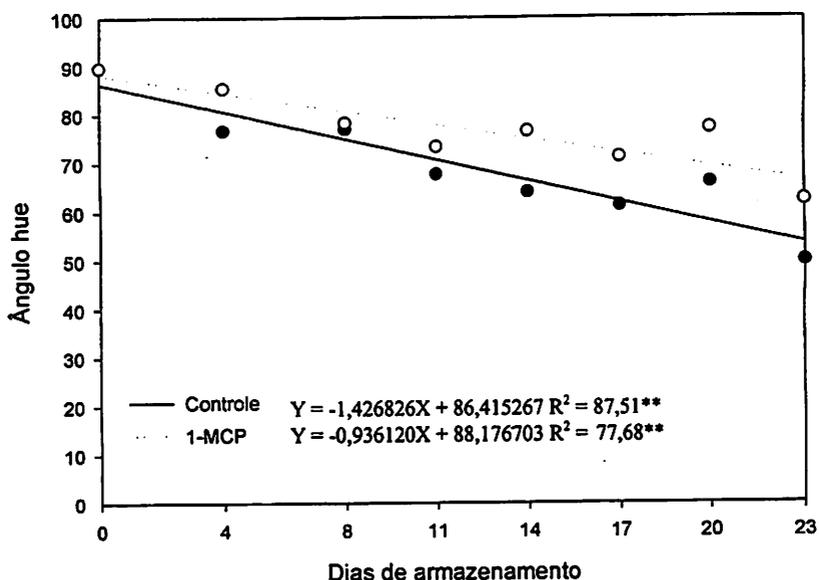


FIGURA 4 Ângulo hue da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\% \text{UR}$.

Os principais pigmentos responsáveis pela coloração dos frutos são: clorofilas, carotenóides (carotenos, licopeno, xantofilas) e flavonóides (antocianinas). Geralmente, as mudanças na coloração dos frutos estão associadas com a redução do teor de clorofila e síntese de outros pigmentos, principalmente antocianinas e carotenóides (Salunke & Desai, 1986). Em sapoti, Lakshminarayana & Mathew (1967) encontraram, dentre os fenólicos, uma grande quantidade de leucoantocianidinas, as quais são precursoras de antocianidinas, indicando que as antocianinas contribuem para coloração do sapoti.

Jeffery et al. (1984) comprovaram que a degradação da clorofila e a síntese de licopeno em tomate são dependentes do etileno. Os autores ainda verificaram que o etileno aumentou a atividade da clorofilase.

Jiang et al. (2001) verificaram que o tratamento com 1-MCP em morango inibiu a atividade da fenilalanina amônia liase, baixando a produção de antocianina. Também foi observada em morangos tratados com 1-MCP menor relação das clorofilas a/b (Tian et al., 2000). Em abacate, o 1-MCP reteve as modificações da coloração da casca e da polpa em relação aos resultados obtidos para L* (claridade), ângulo hue e cromaticidade (Kluge et al., 2002).

3.4 Acidez titulável e pH

O tratamento com 1-MCP isolado não foi significativo para acidez titulável, no entanto, a interação entre o tratamento com 1-MCP e o tempo de armazenamento foi significativa (Tabela B1, Anexo). Já para o pH, apenas o fator tempo foi significativo (Tabela B2, Anexo).

A acidez titulável dos frutos controle diminuiu até o 11º dia, aumentando em seguida até o final do experimento. Já para os frutos tratados, observou-se que a queda continuou até o 20º dia, aumentando no 23º dia. Este acréscimo pode ser justificado pela ocorrência de fermentação provocada pelo início da senescência. Os saptis tratados com 1-MCP apresentaram teor de acidez maior que o controle até os 14 dias, indicando retardo na redução da acidez e, conseqüentemente, no amadurecimento (Figura 5).

Cocozza (2003) também observou retardo na redução da acidez em manga tratada com 1-MCP, sendo a dose de 500nL L⁻¹ mais efetiva do que a de 100nL L⁻¹. Acredita-se que as menores perdas na acidez, durante armazenamento, sejam devido à redução da atividade respiratória, que também foi inibida pelo tratamento com 1-MCP.

O presente trabalho concorda com o de Selvaraj & Pal (1984) que também verificaram, em sapti, uma redução na acidez titulável de

aproximadamente 0,17% no dia da colheita para 0,12% na maturação de consumo.

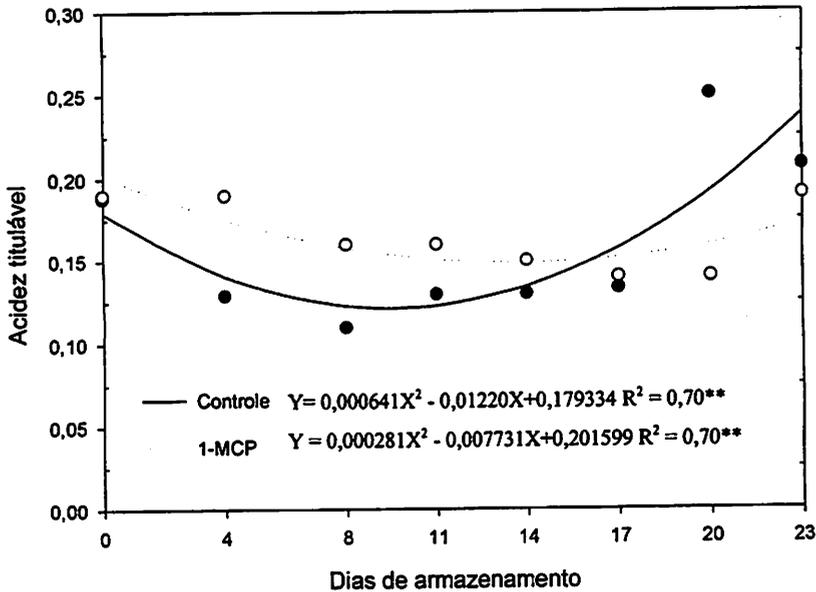


FIGURA 5 Acidez titulável (% ácido málico) de sapoti tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

O ácido málico é o principal ácido orgânico encontrado no sapoti (Selvaraj & Pal, 1984). Este ácido pode ser descarboxilado por enzimas encontradas no citosol e transformado em ácido pirúvico, o qual entra no ciclo de Krebs, razão pelo qual a acidez titulável reduz com o amadurecimento.

Os valores de pH variaram de 5,43, no dia da colheita para 4,77, no final do armazenamento (Figura 6). Esta variação não foi tão evidente quanto a da acidez titulável, demonstrando que a polpa do sapoti tem forte capacidade tamponante. Elevado valor de pH e apenas uma pequena variação durante o

armazenamento são característicos do sapoti; resultados semelhantes foram verificados por Araújo Neto et al. (2001).

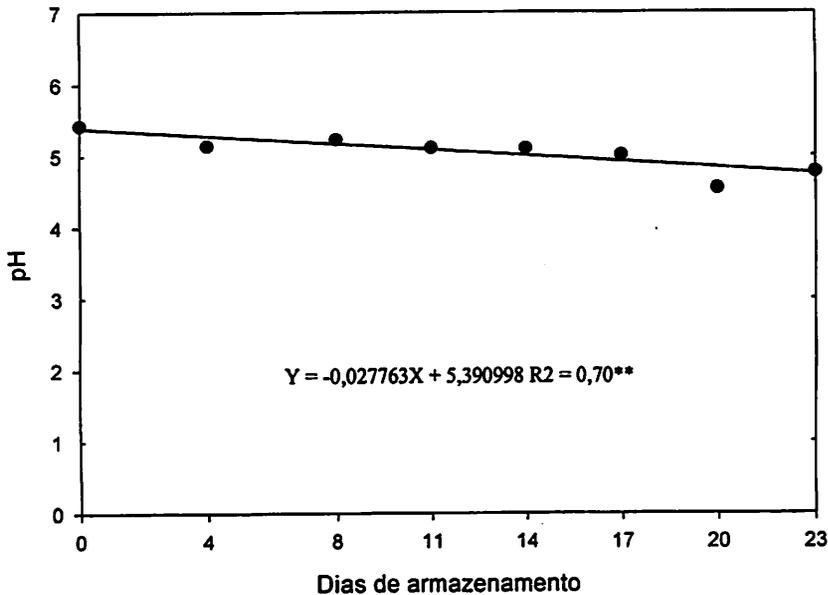


FIGURA 6 Valores médios de pH de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

A utilização de atmosfera modificada pode causar um ligeiro decréscimo de pH e aumento da acidez, devido ao aumento de CO_2 , também podendo estimular a fermentação, quando o nível de O_2 é muito baixo (Siriphanich, 1998). Além do processo de senescência, o uso de filme de PVC nos frutos do presente trabalho pode ter contribuído para o acréscimo da acidez nos frutos controle, no final do armazenamento.

3.5 Sólidos solúveis (SS) e açúcares solúveis totais (AST)

Não houve efeito significativo dos fatores estudados para os teores de sólidos solúveis (SS) e açúcares solúveis totais (AST) (Tabela B2, Anexo). Os valores médios obtidos foram 21,45°Brix para SS e 14,57% para AST, observando-se que 68% do teor de SS são açúcares.

O comportamento dos SS e AST concorda com as observações de Ramadan et al. (1983), de que não existe acúmulo de açúcares em sapoti após a colheita. Entretanto, em outros trabalhos com sapoti foi verificado um pequeno acréscimo de SS e AST durante o armazenamento (Araújo Neto et al., 2001; Miranda, 2002). Em experimento anterior (Capítulo 2), também foi verificado um pequeno acréscimo de AST durante o armazenamento, no entanto, as alterações observadas nos teores de SS e AST geralmente são tão pequenas que não são detectadas.

É importante ressaltar que os teores de SS e AST em sapoti apresentam grande variação, a qual depende das diferentes condições de cultivo, épocas de cultivo e variedades (Selvaraj & Pal, 1984; Vélez-Colón, 1989; Miranda, 2002).

Pathak & Bhat (1952) sugeriram que, durante o amadurecimento do sapoti, parte da sacarose utilizada para os processos metabólicos é resultado da degradação de constituintes do látex do fruto por microrganismos ou enzimas do próprio látex. Este fato pode ser a razão pela qual os açúcares não diminuem durante o pico climatérico, em que a atividade respiratória é alta e necessita de muito substrato.

Tem-se observado que o tratamento com 1-MCP não tem tido ação efetiva para modificar os teores de SS e AST em laranja, banana, maçã, manga e

mamão (Golding et al., 1998; Porat et al., 1999; Hofman et al., 2001), sugerindo que o 1-MCP apresenta pouca influência sobre estas determinantes de qualidade.

3.6 Firmeza

Ao longo do armazenamento, houve redução brusca da firmeza dos frutos, de 79,74N no dia da colheita para 7,79N aos 8 dias de armazenamento para os frutos controle (Figura 7). Tais resultados concordam com os de Araújo Neto et al. (2001), que verificaram uma redução brusca da firmeza de 78,60N no dia da colheita para 5,49N após oito dias de armazenamento, à temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ e $55 \pm 5\%$ UR, para a mesma cultivar utilizada no presente trabalho.

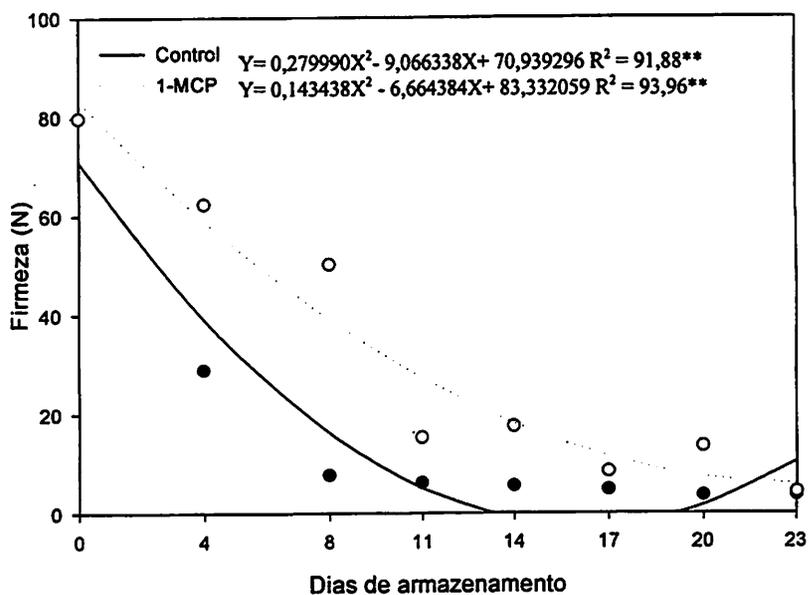


FIGURA 7 Firmeza de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

Para os frutos tratados com 1-MCP, a redução da firmeza foi retardada, tendo, somente aos 17 dias de armazenamento, atingido 8,49N de firmeza. No final do armazenamento, os frutos tratados com 1-MCP apresentaram amaciamento semelhante ao do controle (Figura 7). Isto indica que novos receptores de etileno foram sintetizados e as células recuperaram a sensibilidade ao etileno, ocorrendo o amadurecimento do fruto normalmente.

Pinheiro (2004) também observou retardo no amaciamento de bananas tratadas com $50\eta\text{L.L}^{-1}$ de 1-MCP. Em caqui, $100\eta\text{L.L}^{-1}$ de 1-MCP retardaram o amaciamento em sete dias (Harima, 2003). Ainda, em damasco, pêssago e ameixa, foi constatada manutenção da firmeza após tratamento com 1-MCP (Lurie & Weksler, 2004). Mir et al. (2001) observaram, em maçã, que o tratamento com 1-MCP é mais eficiente na manutenção da firmeza do que o uso da atmosfera controlada.

A hidrólise da parede celular primária e da lamela média é o principal processo responsável pela perda de firmeza dos frutos (Pantástico, 1975). Dessa forma, a eficiência do 1-MCP em manter a firmeza pode ser justificada pelo fato das principais enzimas responsáveis pela hidrólise da parede celular serem ativadas pelo etileno (Lelièvre et al., 1997; Majumder & Mazumdar, 2002).

A firmeza dos frutos é considerada um dos principais atributos de qualidade que, freqüentemente, estabelecem a sua vida útil pós-colheita. Isso ocorre principalmente no caso do sapoti, em que a firmeza ótima para consumo é muito baixa, tornando o fruto susceptível a danos mecânicos e à proliferação de patógenos.

3.6.1 Pectina solúvel e total da polpa

O teor de pectina solúvel aumentou durante o armazenamento, tendo, nos frutos controle, este aumento sido bem mais acentuado (Figura 8). O

aumento na solubilização das substâncias pécnicas se associou com a redução da firmeza, observada durante o amadurecimento dos frutos (Figura 7).

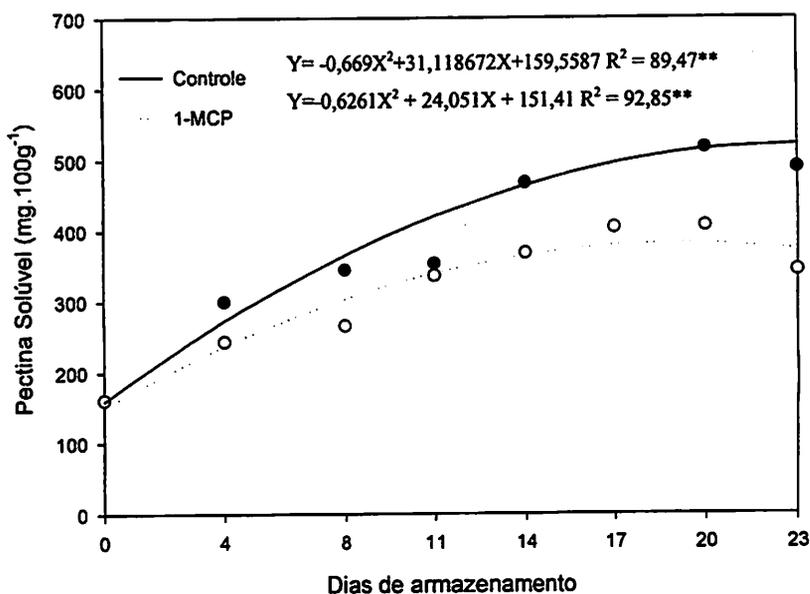


FIGURA 8 Pectina solúvel da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram menor teor de pectina solúvel e maior teor de pectina total ao longo do armazenamento (Figuras 8 e 9), confirmando que a eficiência do 1-MCP em manter a firmeza dos frutos está associada com sua influência sobre a degradação da parede celular.

Sales (2002) e Pinheiro (2004) também verificaram efeito do 1-MCP sobre os teores de pectina total e pectina solúvel durante o amadurecimento de banana. Lima (1999) constatou, em maçãs submetidas à atmosfera controlada, que a eliminação de etileno retarda a solubilização de pectinas.

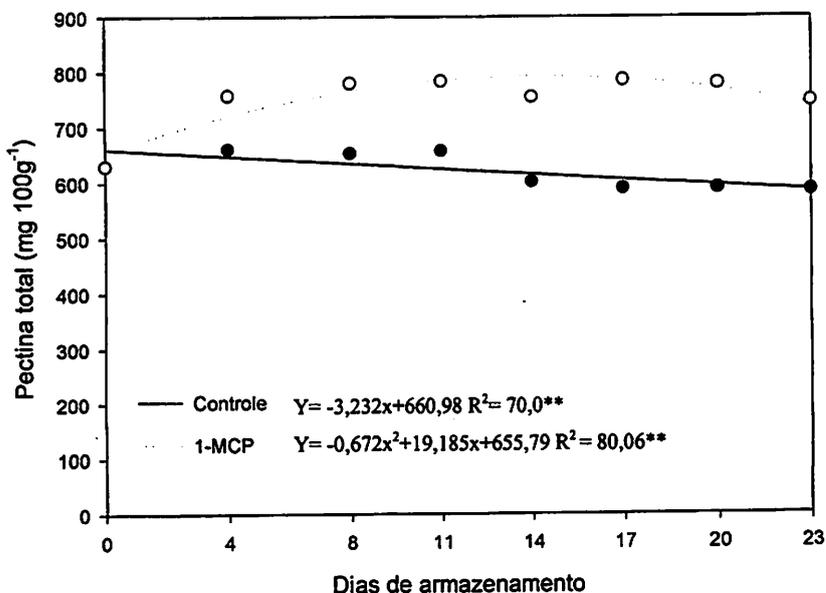


FIGURA 9 Pectina total da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

Pôde-se observar síntese de pectinas no início do armazenamento, com posterior tendência de degradação, para os frutos tratados, no final do mesmo (Figura 9). Já para o controle, os teores de pectinas passaram de $630,52\text{mg } 100\text{g}^{-1}$, no dia da colheita, para $661,27\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, após quatro dias de armazenamento, demonstrando uma pequena síntese de pectinas, apesar da curva de tendência mostrar apenas a degradação que ocorreu a partir do 11º dia. Vilas Boas (1998) também constatou síntese de pectina durante o armazenamento de tomate.

Durante o amadurecimento, as moléculas insolúveis de protopectinas são hidrolisadas por enzimas em pectina solúvel, a qual é usada como substrato

para respiração (Biale & Young, 1981). Esta é a razão provável pela qual a pectina total do presente trabalho diminuiu com o armazenamento.

Para os frutos controle, esta redução foi mais acentuada, o que se deve ao fato do metabolismo estar mais acelerado e resultar em teor de pectina solúvel maior. Isso porque, de acordo com as notas obtidas para aparência externa, depois dos 15 dias de armazenamento, os frutos controle já começaram a senescência, ou seja, a gastar mais energia do que produzir, enquanto os frutos tratados com 1-MCP só iniciaram a senescência após 21 dias de armazenamento.

Miranda et al. (2001) verificaram, durante o amadurecimento de sapoti, teores de pectina total e solúvel semelhantes ao do presente trabalho, assim como uma redução no teor de pectina total, à medida que o teor de pectina solúvel aumentava.

As substâncias pécticas derivam dos ácidos poligalacturônicos e ocorrem nas seguintes formas: protopectina, ligada ao cálcio e insolúvel em água; ácidos pectínicos, os quais apresentam grau de metilação inferior a 100% e ácido péctico, que é isento de metilação e chamado de pectina solúvel (Salunkhe et al., 1991). Segundo Cheftel & Cheftel (1992), o correto seria denominar de pectina somente as cadeias de ácidos poligalacturônicos 100% metiladas. Durante a maturação, ocorre liberação do cálcio e solubilização da protopectina da parede celular.

3.6.2 Atividade enzimática

A interação entre o tratamento com 1-MCP e os tempos de armazenamento foi significativa para a atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase e β -galactosidase (Tabela B5, Anexo).

3.6.2.1 Pectinametilsterase (PME)

De maneira geral, houve um aumento na atividade da enzima PME, seguido de decréscimo durante o armazenamento de sapoti (Figura 10). Outros estudos com sapoti também verificaram comportamento semelhante ao do presente trabalho para atividade da PME (Flores et al., 1971; Selvaraj & Pal, 1984; Miranda et al., 2001).

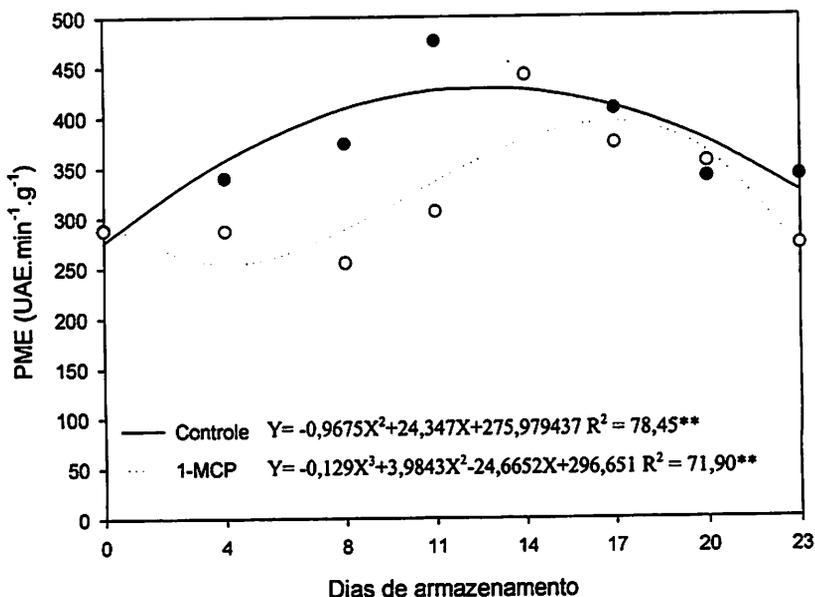


FIGURA 10 Atividade da enzima pectinametilsterase (PME) da polpa de saptotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

O pico de atividade da PME ocorreu aos 11 dias para os frutos controle e aos 17 dias para os frutos tratados com 1-MCP (Figura 10), constatando a eficiência do 1-MCP em inibir parcialmente a atividade de enzimas hidrolíticas da parede celular. É importante ressaltar que a inibição de atividade da PME

reflete os baixos valores obtidos para pectina solúvel, nos frutos tratados com 1-MCP (Figura 8).

Lohani et al. (2004), estudando o efeito do 1-MCP sobre a atividade de enzimas hidrolíticas em banana, verificaram inibição na atividade da PME pelo tratamento com 1-MCP, semelhante ao observado no presente trabalho. Esses resultados concordam com o relatado no trabalho de Wegrzyn & MacRae (1992), os quais verificaram, em kiwi tratados com etileno, um aumento de 2 a 3 vezes na atividade da PME.

Awad (1993) relata que a atividade desta enzima aumenta acentuadamente durante o climatério, contribuindo para perda de firmeza progressiva de muitos frutos.

Estudos indicam que, durante o amadurecimento dos frutos, a enzima PME catalisa a desmetilação do C6 do ácido galacturônico, para que, em seguida, as poligalacturonases (PG) possam hidrolisar as ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ das pectinas, já que elas têm preferência em cadeias com baixo grau de metoxilação.

Plantas transgênicas submetidas à técnica antisense para o gene que codifica a PME não mostraram alteração na firmeza do fruto, mas foi observado um aumento no tamanho dos fragmentos de pectina e no grau de metilesterificação (Hall et al., 1993; Lohani et al., 2004). Na presença de cálcio, a PME pode até aumentar a estabilidade da parede, pelo fato do cálcio formar ligações cruzadas com os grupos carboxílicos livres de cadeias desesterificadas de ácido galacturônico, originando uma estrutura conhecida como modelo *egg box* e evitando a despolimerização pela PG (Brett & Waldron, 1990; Tieman & Handa, 1994). No entanto, estudos recentes têm mostrado que uma outra enzima, a pectato liase, que catalisa a quebra de pectina desmetilada ligada ao cálcio, pode ter um importante papel no amaciamento de frutos, já tendo sido constatada expressão dos genes que codifica esta enzima em morango, uva e banana (White, 2002; Marin-Rodríguez et al., 2002).

3.6.2.2 Poligalacturonase (PG)

A atividade da PG aumentou até o 8º e 14º dias, para os frutos controle e tratados, respectivamente. De maneira geral, estes valores de atividade encontrados foram baixos (Figura 11). No entanto, estão próximos aos valores verificados por Miranda et al. (2001) em sapoti armazenado sob atmosfera modificada e regular.

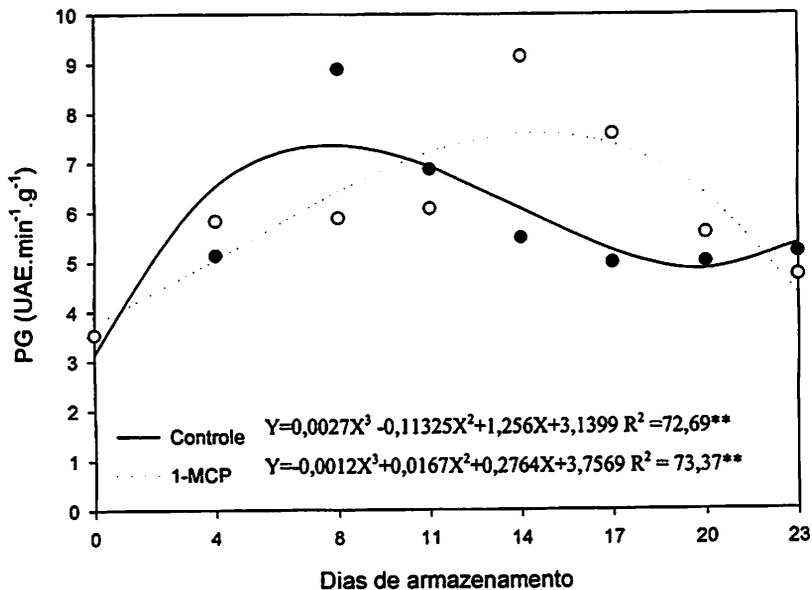


FIGURA 11 Atividade da enzima poligalacturonase (PG) da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

O tratamento com 1-MCP foi eficiente em retardar o pico de atividade da PG (Figura 11). Tais resultados concordam com os de Jeong et al. (2002) que verificaram, em abacate, reduzida atividade da PG em frutos tratados com 1-MCP. Estes autores ainda acrescentam que, no pré-climatério, a atividade é baixa, mas, aumenta na fase climática. Em banana, também foi verificado

semelhante efeito do 1-MCP para a atividade da PG (Sales, 2002; Lohani et al., 2004).

As enzimas hidrolíticas da parede celular, dentre elas a PG, são codificadas por famílias múltiplas de genes, cuja expressão é ativada durante o amadurecimento (White, 2002). Estudos utilizando tomates transgênicos e mutantes têm mostrado que a expressão de gene que codifica a enzima PG é regulada por baixo níveis de etileno (Sitrit & Bennet, 1998; Smith & Gross, 2000).

Durante muito tempo, considerou-se que as modificações de firmeza ocorressem devido à hidrólise de pectinas pela PG. Entretanto, têm-se evidenciado outros mecanismos aos quais se podem atribuir papéis no amaciamento de frutos (Redgwell e Fischer, 2002).

Giovannoni (2001) verificou que a PG não é determinante do amaciamento de tomate, pois a utilização de plantas transgênicas com atividade bloqueada para esta enzima reduziu muito pouco a firmeza. Já quando foi bloqueada a atividade da β -galactosidase, a firmeza do fruto foi bastante reduzida (Brummell & Harpster, 2001; Alexander & Grierson, 2002). Ainda foi observado por Filgueiras (1996) que a maior atividade da PG não resultou em maior solubilização de pectinas em tomate, o que deixa claro que existem outros fatores que regulam esta transformação. Existem outros frutos como morango (Huber, 1984), melão (McCollum et al., 1989) e jaboticaba (Lima, 2002), em que a atividade da PG é muito baixa e, mesmo assim, ocorre o amaciamento. Em sapoti, a baixa atividade da PG observada em estudos anteriores (Miranda et al., 2001) e no presente trabalho indica que a PG não é a principal determinante do seu amaciamento.

3.6.2.3 β -galactosidase (β -gal)

De maneira geral, no início do armazenamento não foi detectada atividade da β -gal, no entanto, com o amadurecimento, sua atividade teve um acentuado aumento (Figura 12). Semelhante ao presente trabalho, Miranda (2002) verificou um aumento na atividade desta enzima conforme avançava o amadurecimento do sapoti. A autora ainda observou, mediante estudo morfo-anatômico, uma dissolução das substâncias pécticas e um afrouxamento da parede celular, o qual sugere estar envolvida a β -gal.

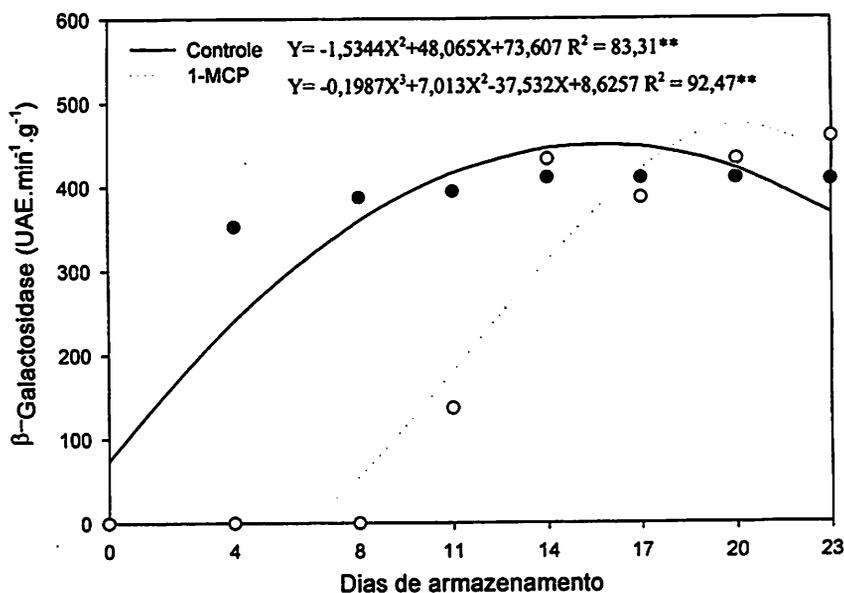


FIGURA 12 Atividade da enzima β -galactosidase da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

O tratamento com 1-MCP inibiu a atividade da β -gal no início do armazenamento. Enquanto nos frutos controle foi detectado uma atividade de $352,5\text{UAE}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, já aos 4 dias de armazenamento, nos frutos tratados só foi

detectada uma atividade de $136,33 \text{UAE} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, aos 11 dias de armazenamento (Figura 12).

Estudos de expressão gênica, em tomate, têm mostrado aumento na expressão de gene que codifica a β -gal durante o climatério e em frutos tratados com etileno. Os autores ainda sugeriram o uso de inibidores da resposta ao etileno, como 1-MCP, para inibir a atividade desta enzima e prolongar a vida útil pós-colheita dos frutos (Moctezuma et al., 2003).

Na parede celular, as moléculas de hemicelulose ligam-se, por pontes de H^+ , às fibras de celulose e os polissacarídeos pécticos ligam-se covalentemente às extremidades reductora das cadeias de hemicelulose (Keegstra et al., 1973). A β -gal atua quebrando ligações cruzadas do tipo β (1-4) galactosídica entre os polímeros pécticos e as moléculas de hemicelulose.

Em melão, a falta de atividade da PG e a redução no teor de galactose da parede durante o amadurecimento, concomitantemente ao aumento na atividade da β -galactosidase, levam a crer que ela seja a principal enzima envolvida na modificação dos polissacarídeos estruturais da parede, provocando o amaciamento (McCollum et al., 1989; Ranwala et al., 1992). Da mesma forma, em jaticaba, Lima (2002) verificou uma alta atividade da β -gal, na fase de crescimento e no início do amadurecimento do fruto. Ainda, em tomate (Carey et al., 1995) mamão (Ali et al., 1998) e pêra (Kitagama et al., 1995), verificou-se que a β -gal libera resíduos de galactose da parede celular dos mesmos.

Como constatado neste trabalho, a atividade da PG durante o amadurecimento de sapoti é muito baixa, entretanto, a atividade da β -galactosidase aumentou com o avanço da maturação, paralelamente à redução da firmeza dos frutos (Figuras 7, 11, 12). Pathak & Bhat (1952) encontraram o açúcar galactose na forma solúvel em sapoti maduro, indicando que a β -galactosidase é uma das principais enzimas envolvida na degradação da parede celular e, conseqüentemente, no amaciamento do fruto do sapotizeiro.

4.6.3 Modificações na parede celular

Houve interação significativa entre o tratamento com 1-MCP e os tempos de armazenamento para os teores de hemicelulose, poliuronídeos e açúcares neutros da parede celular (B3 a B4, Anexo).

4.6.3.1 Hemicelulose

Houve uma redução linear na concentração de hemicelulose durante o armazenamento. Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram maior teor de hemicelulose do que o controle (Figura 13), indicando que o 1-MCP inibiu parcialmente a degradação da hemicelulose.

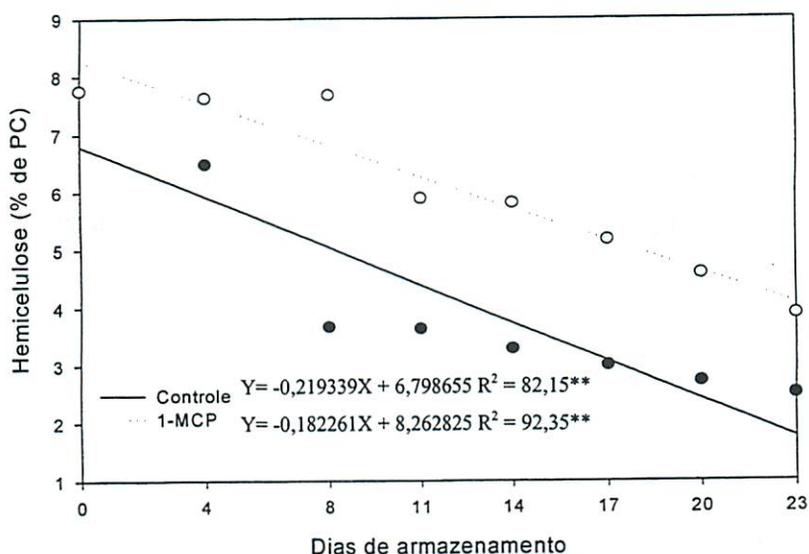


FIGURA 13 Hemicelulose da parede celular isolada (PC) de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

Esta redução na degradação da hemicelulose em frutos tratados com 1-MCP está de acordo com o efeito do 1-MCP constatado neste trabalho sobre

a redução da firmeza e a atividade das enzimas hidrolíticas, responsáveis pela degradação destes polímeros.

A hemicelulose é um grupo heterogêneo de polissacarídeos, constituído por açúcares neutros que se ligam à superfície da celulose. Elas podem formar correntes que reúnem microfibrilas de celulose em uma rede coesa ou podem funcionar como um revestimento deslizante para impedir o contato direto entre microfibrilas (Redgwell & Fischer, 2002).

Redução do teor de hemicelulose associada com o amadurecimento de frutos tem sido observada em tomate (Vilas Boas, 1998), morango (Huber, 1984) e maçã (Siddiqui et al., 1996), assim como decréscimo na sua massa molecular durante o amadurecimento de diversos frutos (Hegde & Maness, 1998; Paull et al., 1999).

4.6.3.2 Poliuronídeos

Os teores de poliuronídeos na parede celular decresceram durante o armazenamento (Figura 14), concordando com o aumento de pectinas solúveis verificado na polpa do sapoti neste trabalho.

O tratamento com 1-MCP manteve os valores de poliuronídeos superiores aos encontrados nos frutos controle. Semelhante aos resultados constatados neste trabalho, Jeong et al. (2002) verificaram, em abacate, que o 1-MCP inibiu a degradação das cadeias de poliuronídeos e, conseqüentemente, a atividade de enzimas responsáveis por esta degradação.

A redução da firmeza dos frutos, que geralmente acompanha o amadurecimento, é conseqüência, principalmente, de modificações no metabolismo dos carboidratos que compõem a parede celular, resultando em modificações na sua estrutura. As alterações mais evidentes na composição de paredes celulares são as perdas de polímeros de ácidos urônicos e os resíduos de açúcares neutros não celulósicos (Paull et al., 1999; Holland, 1993).

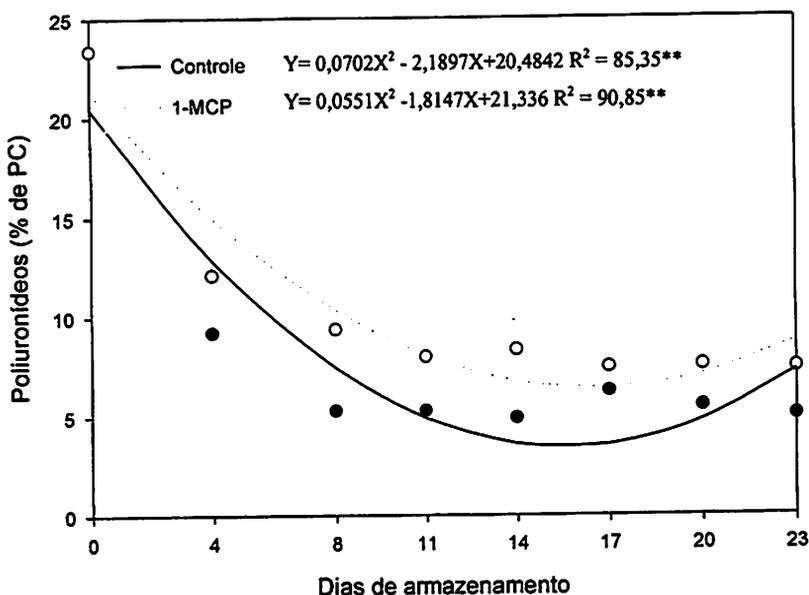


FIGURA 14 Poliuronídeos da parede celular isolada (PC) de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

4.6.3.3 Açúcares neutros

No presente estudo, os açúcares neutros predominantes na parede celular do sapoti são xilose, arabinose, galactose e glucose (Figuras 15 A e B, 16 A e B e 17 A e B). Estes resultados coincidem com os observados em abacaxi, por Bonnas (2002).

Arabinose e galactose são componentes, principalmente, de polissacarídeos pécticos; já xilose, glucose e manose são constituintes principais da fração hemicelulósica.

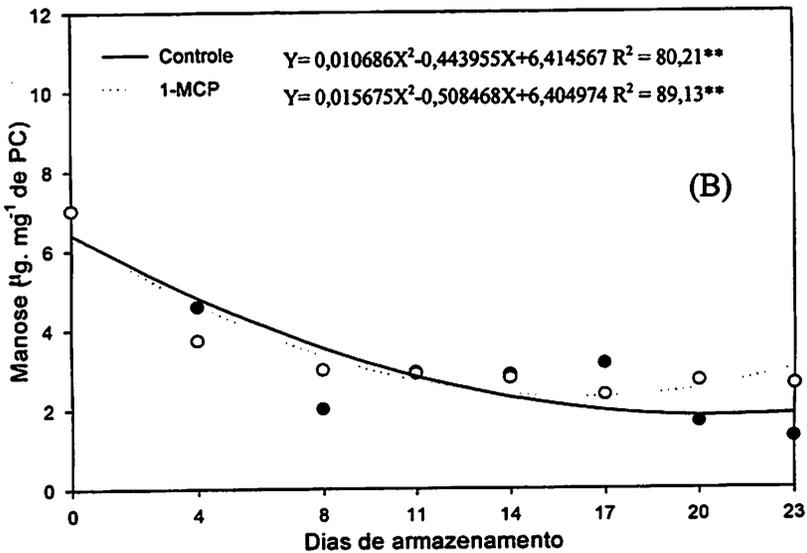
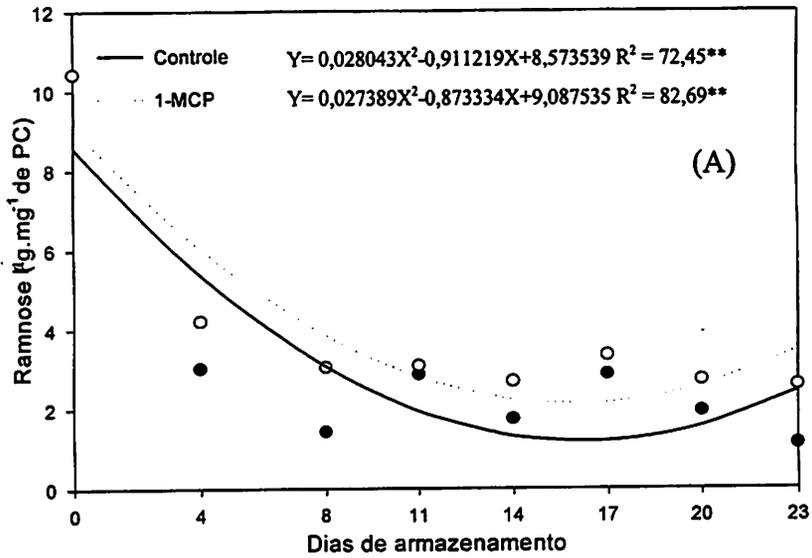


Figura 15 Resíduos de açúcares, ramnose (A) e manose (B), da parede celular de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

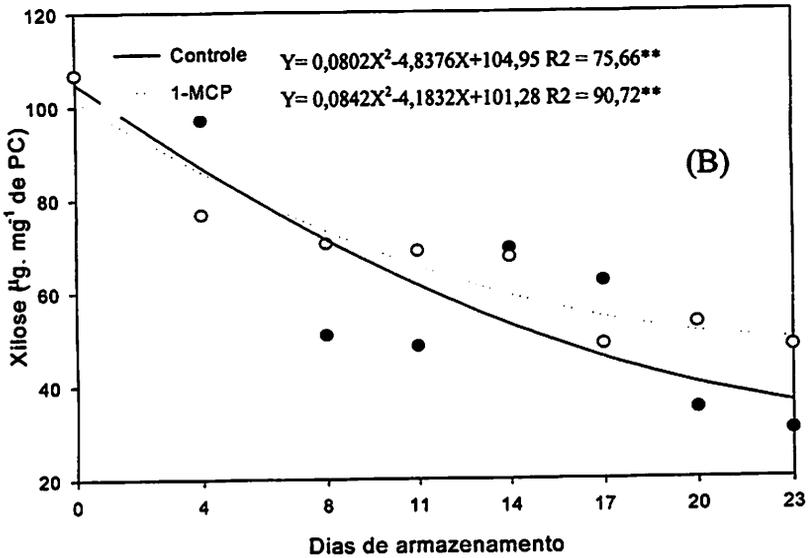
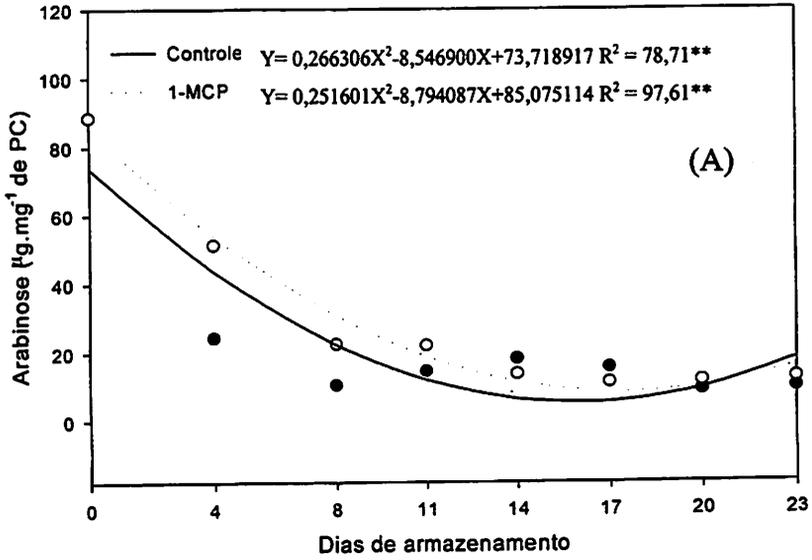


Figura 16 Resíduos de açúcares, arabinose (A) e xilose (B), da parede celular de saptotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

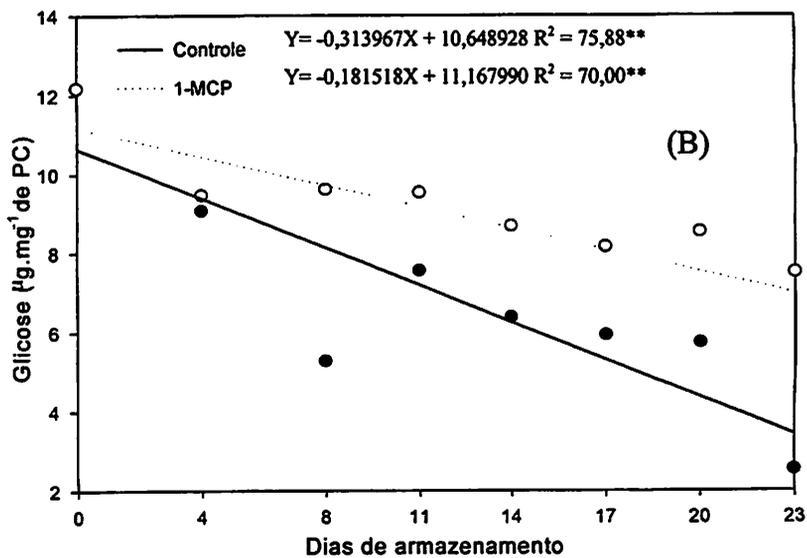
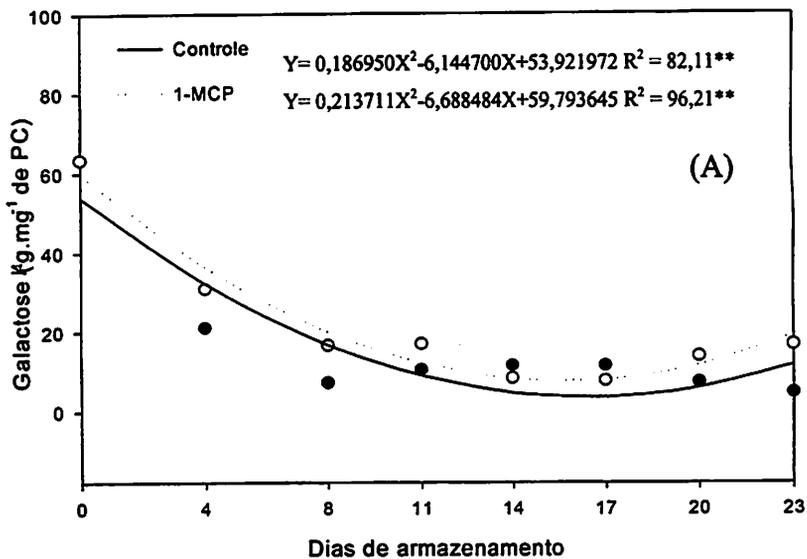


Figura 17 Resíduos de açúcares, galactose (A) e glicose (B), da parede celular de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

A concentração de açúcares neutros nas frações pécnicas e hemicelulósicas da parede celular decresceu durante o armazenamento do sapoti (Figuras 15 A e B, 16 A e B e 17 A e B), concordando com outros estudos de parede celular em vários frutos (Ahmed & Labavitch, 1980; Mitchan & McDonald, 1992; Lima, 1999). Estudos sugeriram que as perdas de açúcares neutros da parede celular são indicativos de um elevado grau de despolimerização das pectinas (Fischer et al., 1994).

O tratamento com 1-MCP reduziu as perdas de todos os açúcares neutros da parede celular (Figuras 15 A e B, 16 A e B e 17 A e B). Estes resultados já eram esperados, já que, no presente estudo, o 1-MCP influenciou as atividades das enzimas hidrolíticas e a solubilização da pectina e hemicelulose, variáveis estas determinantes da perda dos açúcares neutros.

As regiões ramificadas, constituídas por açúcares neutros, possibilitam a ligação entre pectina e hemicelulose (Redgwell & Fischer, 2002). Mais uma vez, as modificações na composição da parede celular demonstram que o tratamento com 1-MCP impede a sua degradação pelas enzimas hidrolíticas.

A redução nos teores de ramnose da parede celular durante o armazenamento, juntamente com os de arabinose e galactose, possivelmente indica que as cadeias principais dos polímeros tornaram-se mais lineares, pois os resíduos de ramnose introduzem pontos de hidrólise na sua conformação (Bonnas, 2002).

A redução na concentração de galactose durante o armazenamento concorda com o aumento na atividade da β -galactosidase observado no presente estudo, confirmando, mais uma vez, a importância da β -galactosidase na degradação da parede celular de sapoti. Pathak & Bhat (1952) também verificaram galactose na forma solúvel em sapoti maduro.

Kim et al. (1987) verificaram que o aumento de galactose livre no pericarpo de tomates estimula a síntese de novo de ACC-sintase e, conseqüentemente, a produção de etileno.

Filgueiras (1996) observou alto coeficiente de correlação entre arabinose, galactose e ácido galacturônico ligado à parede, evidenciando a importância dos dois açúcares neutros para a integridade dos poliuronídeos.

As reduções nos teores de xilose e glucose foram menores do que os demais açúcares neutros. Isso provavelmente ocorreu devido ao fato de esses açúcares fazerem parte da fração hemicelulósica e, de acordo com o observado no presente trabalho, a redução na concentração de hemicelulose foi menor do que de pectina na parede celular.

As altas concentrações de galactose e arabinose observadas neste estudo sugerem a predominância de polímeros do tipo arabinogalactanas, enquanto os teores de glucose e xilose sugerem a presença de polímeros xiloglicanos, não descartando a hipótese da presença de xiloglicomananas, pois, apesar de baixo, foi detectado teor de manose. A fucose foi o açúcar com menor concentração, sendo detectados apenas traços, razão pelo qual não foi demonstrado em gráfico. Estes resultados concordam com os verificados por Lima (2002) para jaboticaba e por Vilas Boas (1998) para tomates.

Apesar de o sapoti amolecer extensivamente durante o amadurecimento, não existiam trabalhos caracterizando as mudanças nos polímeros da parede celular, durante este processo. As alterações observadas nos componentes da parede celular neste estudo podem explicar, em parte, a redução na firmeza deste fruto.

3 CONCLUSÕES

Sob as condições experimentais estudadas pôde-se concluir:

- a) o uso do 1-MCP na dose de 300nL L^{-1} demonstrou ser eficiente em retardar o amadurecimento, inibindo parcialmente as alterações da cor da polpa e as reduções da acidez titulável e da firmeza;
- b) o tratamento com 1-MCP retardou a perda de firmeza dos frutos, devido à sua ação inibitória sobre a atividade das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase e β -galactosidase, resultando em menor solubilização de substâncias pécticas, menores perdas de açúcares neutros e menor degradação de hemicelulose e poliuronídeos;
- c) o 1-MCP mostrou-se uma potente ferramenta para retardar o amaciamento dos frutos e esclarecer o envolvimento do etileno nas alterações da parede celular.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, A.E.; LABAVITCH, J.M. Cell wall metabolism in ripening fruit. **Plant Physiology**, Washington, v.65, p.1009-1113, 1980.

ALBERSHEIM, P. et al. A method for the analysis of sugar in plant cell wall polysaccharides by gas-liquid chromatography. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v.5, p.340-345, 1967.

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**. v.53, p.2039-2055, 2002.

ALI, S.H; LIN, T.S. Fruit development and maturation os sapodilla cv. Subang. **Proceedings International Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.397-402, 1996.

ARAUJO-NETO, S.E. et al. Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*), **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.45-49, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17.ed. Washington: AOAC, 2002. 1115p.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114p.

BAEZ, M.A et al. Fisiologia poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras zapota* L.) durante condiciones de mercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.209-214, 1997.

BIALE, J. B.; YOUNG, R. E. Respiration and ripening in fruits: retrospective and prospect. In: FRIEND, J.; RHODES, M. J. C. (Eds.). **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. London: Academic, 1981. p. 1-39.

BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v.34, p.330-334, 1962.

BOJAPPA, K.K.M.; REDDY, T.V. Postharvest treatment to extend the shelf life of sapota fruits, **Acta Horticulturae**, v.269, p.391, 1990.

BONNAS, D.S. **Qualidade do abacaxi cv. Smooth Cayenne minimamente processado, embalado sob atmosfera modificada.** 2002. 100p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

BUESCHER, R.W.; FURMANSKI, R.J. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. **Journal of Food Science**, Chicago, v.43, n.1, p.264-266, 1978.

CAREY, A.T. et al. Tomato exo-(1-4)-beta-D-galactanase: isolation, changes during ripening in normal and mutant tomato fruit, and characterization of a related cDNA clone. **Plant Physiology**, v.108, p.1099-1107, 1995.

CHEFTEL, J.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos.** Zaragoza: Acribia, 1992. v.1, 220p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 293p.

COCOZZA, F. D. M. **Maturação e conservação de manga 'Tommy Atkins' submetida à aplicação pós-colheita de 1-metilciclopropeno.** 2003. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

DE VETTEN, N.C.; HUBER, D.J. Cell wall changes during the expansion and senescence of carnation (*Dianthus caryophyllus*) petals. **Physiologia Plantarum**, v.78, p.447-454, 1990.

DEY, P.M.; PRIDHAM, J.B. Purification and properties of galactosidases from *Vicia faba* seeds. **Biochemistry Journal**, v.113, p.49-55, 1969.

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

FENG, X. et al. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.143-150, Sept. 2000.

- FILGUEIRAS, H.A.C. **Bioquímica do amadurecimento de frutos de tomateiro híbridos heterozigotos para o mutante 'Alcobaça'**. 1996. 121p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FLORES, A.G.; RÍVAS, D. Estudios de maduración y Imacenamiento refrigerado de nispero (*Achras sapota*). **Fitotecnia Latinoamericana**, v.11, n.1, p.43-51, 1975.
- FLORES, M.C. et al. Variación de los constituyentes pécticos solubles y de la actividad de la pectinesterasa durante el proceso de maduración de algunas frutas. **Revista de Agronomía y Tecnología**, v.11, n.4, p.584-601, 1971.
- GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.52, p.725-749, 2001.
- HALL, L.N. et al. Antisense inhibition of pectin esterase gene-expression in transgenic tomatoes. **The Plant Journal**, v.3, p.121-129, 1993.
- HAMRICK, D. Ethylbloc goes liquid. **Grower Talks**, v.65, 105p. 2001.
- HARIMA, S. et al. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.29, p.318-323, 2003.
- HEGDE, S.; MANESS, N. O. Changes in apparent molecular mass of pectin and hemicellulose extracts during peach softening. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, n.3, p.445-456, 1998.
- HOLLAND, N. **Conservação pós-colheita de pêssegos (cv. Biuti): interação entre cálcio e temperatura**. 1993. 116p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- HUBER, D.J. Strawberry fruit softening: the potential roles of polyuronides and hemicelluloses. **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n.5, p.1310-1315, 1984.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3.ed. São Paulo: IAL, 1985. v.1, 533p.

JEFFERY, D. et al. Ethylene independent and ethylene dependent biochemical changes in ripening tomatoe (*Lycopersicon esculentum*). **Plant Physiology**, v.74, p.32-38, 1984.

JEN, J.J.; ROBINSON, M.L.P. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n.4, p.1045-1087, 1984.

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

JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; TERRY, L.A. 1-Methycycloprene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.3, p.227- 232, Dec. 2001.

KEEGSTRA, K. et al. The structure of plant cell walls. III. A model of the interconnections of the macromolecular components. **Plant Physiology**, Washington, v.51, n.1, p.188-196, 1973.

KIM, J.; GROSS, K. C.; SOLOMOS, T. Characterization of the stimulation of ethylene production by galactose in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruit. **Plant Physiology**, Baltimore, v.85, n.3, p.804-807, 1987.

KITAGAMA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of galactosidase fractions from japanese pear, with activity against native wall polysaccharides. **Physiologia Plantarum**, v.93, p.545-550, 1995.

KLUGE, R. A. et al. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.895-901, jul. 2002.

LAKSHMINARAYANA, S. Sapodilla and prickly pear. In: NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and Subtropical Fruits**. Westport: AVI, 1980. p.415-441.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G. Leucoanthocyanidins of sapota fruit. **Journal Food Science**, v.32, p.451-452, 1967.

LELIÈVRE, J.M. et al. Ethylene and fruti ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.101, n.4, p.727-739, 1997.

- LIMA, H.C. de. **Modificações de carboidratos estruturais e de enzimas pécticas em jabuticaba [plinia trunciflora (Berg) Kausel – Myrtaceae].** 2002. 61p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- LIMA, L.C. **Armazenamento de maçãs cv. Royal gala sob refrigeração e atmosfera controlada.** 1999. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- LIMA, L.C. de O. **Tecido esponjoso em manga ‘Tommy Atkins’: Transformações químicas e bioquímicas no mesocarpo durante o armazenamento.** 1997. 147p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- LOHANI, S.; TRIVEDI, P.K.; NATH, P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. **Postharvest Biology and Technology**, v.1, p.1-8, 2004.
- LURIE, S.; WEKSLER, A. Effects of 1-methylcyclopropene on stone fruits. In: **INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5th**, 2004, Verona. **Abstracts...** Verona: The Italian Postharvest working Group, 2004. p.5.
- MAGALHÃES, M.M.; BARROS, R.S.; FINGER, F.L. Changes in structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jabuticaba*. **Sciencia Horticulturae**, Oxford, v.66, p.17-22, 1996.
- MAJUMDER, K. MAZUMDAR, B. C. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. **Science Horticulturae**, v.96, p.91-101, 2002.
- MARÍN-RODRÍGUEZ, M.C.; ORCHARD, J.; SEYMOUR, G.B. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.2115-2119, 2002.
- McCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D. Modification of polyuronides and hemicelulose during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, v.76, p.303-308, 1989.
- McCREADY, R.M.; McCOMB, E.A. Extraction and determination of total pectic materials in fruit. **Analytical Chemistry**, Washington, v.24, n.12, p.1586-1588, 1952.

MENEZES, J.B. et al. Modificações dos componentes de parede celular do melão tipo gália durante o armazenamento sob refrigeração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v.17, n.3, p.309-313, 1997.

MIR, N.A. et al. 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, n.5, p.618-624, 2001.

MIRANDA, M.R.A. et al. Enzymes and pectin breakdown of sapodilla during modified atmosphere storage. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.45, p.18-21, 2001.

MIRANDA, M.R.A. **Alterações fisiológicas e histológicas durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento refrigerado do sapoti**. 2002. 136p. Tese. (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MIRANDA, M.R.A. et al. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p. 644-646, 2002.

MITCHAM, E.J.; MCDONALD, R.E. Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.17, n.6, p.497-501, 1992.

MOCTEZUMA, E.; SMITH, D. L.; GROSS, K.C. Effect of ethylene on mRNA abundance of three β -galactosidase genes in wild type and mutant tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.207-217, 2003.

MOHAMED, S.; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physicochemical characteristics of Ciku (*Achras sapota* L.) at various storage. **Journal Science Food agriculture**, v.70, p.231-240, 1996.

MORAIS, P.L.D. de. et al. Atividade respiratória e qualidade pós-colheita de sapoti. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004. CD-ROM.

MOURA, R.J.M.; BEZERRA, J.E.F. **Cultivo do saptizeiro (*Achras sapota*) em Pernambuco**. Recife: Secretaria de Agricultura de Pernambuco, 1982. 4p. (IPA Instruções Técnicas).

NELSON, N.A. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v.135, p.135-375, 1994.

PANTÁSTICO, E.B. Structure of fruits and vegetables. In: _____. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical fruits and vegetables**. Westport: AVI, 1975. p.1-24.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. Fruit. **Journal of the University of Bombay**, p.11-20, 1952.

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

PESIS, E.; FUCHS, Y.; ZAUBERMAN, G. Starch content and amylase activity in avocado fruit pulp. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.103, p.673-676, 1978.

PINHEIRO, A.C.M. **Qualidade pós-colheita de banana 'maçã' submetida ao 1-MCP**. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1-Methylcyclopene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.155-163, 1999.

PRESSEY, R.; AVANTS, J.K. Separation and characterization of the exopolysaccharidase and endopolysaccharidase from peaches. **Plant Physiology**, Baltimore, v.52, n.3, p.252-256, 1973.

RAMADAN, L. et al. Acumulacion de azucares, perdida de textura y contenido de solidos solubles totales en nispero (*Achras zapota*) variedad Conchudo. **Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidad de Zulia**, Venezuela, v.6, n.2, p.744-757, 1983.

RANWALA, A.P.; SUEMATSU, C.; MASUDA, H. The role of α -galactosidases in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. **Plant Physiology**, Rockville, v.100, n.3, p.1318-1325, 1992.

REDGWELL, R.R.; FISCHER, M. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perceptions. In: KNEE, M. **Fruit quality and its biological basis**. Sheffield, 2002. p.46-75.

ROHM AND HASS. **1-Metilciclopropeno (1-MCP)**: [SI]: Agrofresh, 2002. (Boletim Técnico).

ROSE, J.K.C.; LEE, H.H.; BENNETT, A.B. Expression of a divergent expansin gene is fruit-specific and ripening-regulated. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v.94, p.5955-5960, 1997.

ROY, S.K.; JOSHI, G.D. Sapota. In: MITRA, S.K. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits**. New York: Cab international, 1997. Cap.20, p.387-395.

SALADIE, M. et al. DFD, a new tomato mutant that prompts a reevaluation of the key determinants of tomato fruit softening and postharvest deterioration. In: **INTERNATIONAL POSTHARVEST SYMPOSIUM, 5th**, 2004, Verona. **Abstracts...** Verona: The Italian Postharvest working Group, 2004. p.5.

SALES, A.N. de. **Aplicação de 1-Metilciclopropeno em banana 'prata-anã' armazenada sob baixa temperatura seguida de climatização**. 2002. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2002.

SALTVEIT, M.E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, p.279-292, 1999.

SALUNKHE, D.K.; BOLIN, H.R.; REDDY, N.R. **Storage processing and nutritional quality of fruits and vegetables: fresh fruits and vegetables**. 2.ed. Boston: CRC, 1991. v.1, 323p.

SALUNKHE, D.K.; DESAI, B.B. **Postharvest biotechnology of fruits**. 2.ed. New York: CRC, 1986. v.2, 147p.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K., Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Achras zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal Horticultural Science**, v.59, n.2, p.275-281, 1984.

SELVARAJAH, S.; BAUCHOT, A.D.; JOHN, P. Internal browning in cold-storage pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropane. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.2, p.167-170, Nov. 2001.

SIDDIQUI, S. et al. Controlled atmosphere storage of apples: cell wall composition and fruit softening. **Journal of Horticultural Science**, v.71, n.4, p.613-620, 1996.

SIRIPHANICH, J. High CO₂ enhances fruit firmness during storage. **Journal Japanese Society Horticultural Science**, v.67, n.6, p.1167-1170, 1998.

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.

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

SMITH, D.L.; GROSS, K.C. A family of at least seven beta-galactosidase genes is expressed during tomato fruit development. **Plant Physiology**, v.123, p.1173-1183, 2000.

TIAN, M.S. et. al. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropane (1-MCP) and ethylene. **Plant Growth Regulation**, v.32, p.83- 90, 2000.

TIEMAN, D.M.; HANDA, A.K. Reduction in pectinmethylesterase activity modifies tissue integrity and cation levels in ripening tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits. **Plant Physiology**, Baltimore, v.106, p.429-436, 1994.

VÉLEZ-CÓLON, R.; CALONI, I.B; GARRASTAZU, S.M. Sapidilla (*Manilkara sapota*) variety trials in Southern Puerto Rico. **Journal Agriculture University**, Puerto Rico, v.73, n.3, p.255-264, 1989.

VILAS BOAS, E.V. de B. **Maturação pós-colheita de híbridos de tomate heterozigotos no loco alcobaca**. 1998. 105p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WEGRZYN, T.F.; MACRAE, E.A. Pectinesterase, polygalacturonase, and beta-galactosidase during softening of ethylene-treated kiwifruit. **Hortscience**, v.27, p.900-902, 1992.

WHITE, P.J. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.1995-2000, 2002.

YEMN, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.

ANEXOS

| | Página |
|---|---------------|
| ANEXO A | |
| TABELA 1A | |
| Resumo das análises de variância para perda de massa, firmeza e acidez titulável (AT) da polpa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L ⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR. | 136 |
| TABELA 2A | |
| Resumo das análises de variância para L* (claridade), cromaticidade e ângulo hue da polpa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L ⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR..... | 137 |
| TABELA 3A | |
| Resumo das análises de variância para aparência externa, fenólicos dímeros (FD), oligoméricos (FO) e poliméricos (FP) de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L ⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR..... | 138 |
| TABELA 4A | |
| Resumo das análises de variância para pH, sólidos solúveis (SS) e açúcares solúveis totais (AST) de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L ⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR..... | 139 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| TABELA 1B | Resumo das análises de variância para acidez titulável (AT), firmeza, L*(claridade), cromaticidade e ângulo hue da polpa de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR..... | 140 |
| TABELA 2B | Resumo das análises de variâncias para aparência externa, perda de massa, pH, sólidos solúveis (SS) e açúcares solúveis totais (AST) de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR..... | 141 |
| TABELA 3B | Resumo das análises de variância para pectina total e solúvel da polpa, hemicelulose e poliuronídeos da parede celular isolada de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR..... | 142 |
| TABELA 4B | Resumo das análises de variância para os açúcares neutros: ramnose, manose, glucose, arabinose, xilose e galactose da parede celular isolada de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR..... | 143 |
| TABELA 5B | Resumo das análises de variância para atividade da enzimas poligalacturonase (PG), pectinametilsterase (PME) e β -Galactosidase de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR. | 144 |

TABELA A1- Resumo das análises de variâncias para perda de massa, firmeza e acidez titulável (AT) da polpa de saptotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | |
|-----------------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------|
| | | Perda de massa | Firmeza | AT |
| Tempo | (07) | 109,370 ** | 13129,245 ** ** | 0,0089 ** |
| Regressão linear | 01 | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | |
| Dose de 1-MCP | (03) | 2,814 ** | 2104,227 ** | 0,00349 ** |
| Regressão linear | 01 | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | |
| Desvio de regressão | 01 | | | |
| Tempo x dose de 1-MCP | (21) | (0,464) ** | (426,356) ** | (0,000995) * |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 1 | | | | |
| Regressão linear | 01 | 198,726 ** | 16696,677 ** | 0,00168 ns |
| Regressão quadrática | 01 | 8,224 ** | 4802,643 ** | 0,00908 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 2,576 ** | 0,559 ns | 0,00126 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 0,964 ** | 674,338 ** | 0,00216 ** |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 2 | | | | |
| Regressão linear | 01 | 145,627 ** | 23188,897 ** | 0,01028 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 11,316 ** | 229,097 ns | 0,00741 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 4,581 ** | 2608,242 ** | 0,00252 * |
| Desvio de regressão | 04 | 0,153 ns | 213,393 * | 0,00031 ns |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 3 | | | | |
| Regressão linear | 01 | 178,639 ** | 23005,518 ** | 0,00728 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 18,876 ** | 14,712 ns | 0,00336 * |
| Regressão cúbica | 01 | 3,326 ** | 2349,933 ** | 0,00121 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 2,181 ** | 187,037 * | 0,00183 ** |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 4 | | | | |
| Regressão linear | 01 | 168,759 ** | 21453,647 ** | 0,00013 ns |
| Regressão quadrática | 01 | 13,572 ** | 23,265 ns | 0,00482 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 1,319 ** | 1746,173 ** | 0,00056 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 1,651 ** | 109,934 ns | 0,00418 ** |
| Resíduo | 64 | 0,214 | 65,137 | 0,00049 |
| CV(%) | | 12,17 | 21,87 | 11,30 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente. ns=não significativo

TABELA A2- Resumo das análises de variância para L* (claridade), cromaticidade e ângulo hue da polpa de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | |
|-----------------------|--------------------|------------------|---------------|-------------|
| | | L* (claridade) | Cromaticidade | Angulo hue |
| Tempo | (07) | 866,957 ** | 113,489 ** | 700,542 ** |
| Regressão linear | 01 | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | |
| Dose de 1-MCP | (03) | 381,764 ** | 8,433 * | 278,030 ** |
| Regressão linear | 01 | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | |
| Desvio de regressão | 01 | | | |
| Tempo x dose de 1-MCP | (21) | (28,749) ** | 10,914 ** | 32,223 ** |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 1 Regressão linear | 01 | 2214,316 ** | 44,347 ** | 1815,746 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 110,016 ** | 24,025 ** | 22,382 ns |
| Regressão cúbica | 01 | 16,063 ns | 0,162 ns | 7,462 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 33,119 ** | 5,121 ns | 9,202 ns |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 2 Regressão linear | 01 | 1600,671 ** | 138,596 ** | 1175,681 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 0,728 ns | 64,666 ** | 76,194 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 96,909 ** | 43,890 ** | 1,686 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 9,505 ns | 4,191 ns | 54,313 ** |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 3 Regressão linear | 01 | 1222,026 ** | 196,197 ** | 948,053 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 46,743 ** | 21,809 * | 147,381 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 14,127 ns | 77,252 ** | 6,471 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 4,517 ns | 19,046 ** | 16,146 ns |
| Tempo dentro de dose | | | | |
| 4 Regressão linear | 01 | 917,636 ** | 164,149 ** | 728,293 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 12,243 ns | 3,322879 ns | 100,612 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 61,566 ** | 109,415 ** | 0,016 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 42,702 ** | 6,096 ns | 57,965 ** |
| Resíduo | 64 | 6,374 | 2,516 | 7,137 |
| CV(%) | | 4,07 | 7,54 | 3,38 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente. ns=não significativo

TABELA A3 - Resumo das análises de variância para aparência externa, fenólicos dímeros (FD), oligoméricos (FO) e poliméricos (FP) de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | | |
|------------------------|--------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | | Aparência externa | FD | FO | FP |
| Tempo | (07) | 22,08 ** | 6,656 ** | 7,252 ** | 7,972 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | | |
| Dose de 1-MCP | (03) | 6,74 ** | 0,493 ** | 0,578 ** | 0,496 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | | |
| Desvio de regressão | 01 | | | | |
| Tempo x dose de 1-MCP | (21) | 0,87 ** | (0,215) ** | (0,249) ** | (0,247) ** |
| Tempo dentro de dose 1 | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 50,31 ** | 4,760 ** | 5,546 ** | 6,057 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 0,14 ns | 3,711 ** | 3,753 ** | 4,380 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 2,10 ** | 1,239 ** | 1,032 ** | 1,510 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 0,10 ns | 0,050 ** | 0,034 ** | 0,062 ns |
| Tempo dentro de dose 2 | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 23,16 ** | 9,912 ** | 11,384 ** | 11,489 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 7,33 ** | 1,920 ** | 1,773 ** | 2,563 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 0,60 ** ** | 0,079 ** | 0,157 ** | 0,019 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 0,78 ns ** | 0,208 ** | 0,179 ** | 0,206 ** |
| Tempo dentro de dose 3 | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 22,86 ** | 11,336 ** | 12,599 ** | 14,073 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 11,17 ** | 1,952 ** | 1,790 ** | 2,813 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 1,71 ** ns | 0,239 ** | 0,399 ** | 0,209 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 0,13 * | 0,194 ** | 0,247 ** | 0,236 ** |
| Tempo dentro de dose 4 | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 18,21 ** | 10,864 ** | 11,437 ** | 12,379 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 17,06 ** | 1,444 ** | 1,321 ** | 1,767 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 2,17 ** | 0,263 ** | 0,424 ** | 0,154 * |
| Desvio de regressão | 04 | 0,16 * | 0,395 ** | 0,638 ** | 0,388 ** |
| Resíduo | 64 | 0,055 | 0,00678 | 0,0067 | 0,0266 |
| CV(%) | | 10,86 | 14,68 | 13,44 | 26,98 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente. ns=não significativo

TABELA A4- Resumo das análises de variância para pH, sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST) de sapotis tratados com diferentes concentrações (0, 100, 200, 400 η L.L⁻¹) de 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de 25 \pm 2°C e 70 \pm 5% UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | |
|-----------------------|--------------------|------------------|-------------|-------------|
| | | pH | SS | AST |
| Tempo | (07) | (0,454) ** | (25,899) ** | (47,306) ** |
| Regressão linear | 01 | 2,975 ** | 168,501 ** | 284,884 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 0,000165 ns | 8,544 * | 2,203 ns |
| Regressão cúbica | 01 | 0,10379 * | 0,0435 ns | 5,336 ns |
| Desvio de regressão | 04 | 0,0242 ns | 1,052 ns | 9,679 * |
| Dose de 1-MCP | (03) | 0,0468 ns | (8,849) ** | 0,170 ns |
| Regressão linear | 01 | | 10,142 * | |
| Regressão quadrática | 01 | | 16,360 ** | |
| Desvio de regressão | 01 | | 0,0000 ns | |
| Tempo x dose de 1-MCP | (21) | 0,0259 ns | 1,535 ns | 2,123 ns |
| Resíduo | 64 | 0,01946 | 1,789 | 2,964 |
| CV(%) | | 2,74 | 5,28 | 9,10 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente. ns=não significativo

TABELA B1- Resumo das análises de variância para acidez titulável (AT), firmeza, L* (claridade), cromaticidade e ângulo hue da polpa de saptis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | | | |
|-------------------------|--------------------|------------------|--------------|----------------|---------------|-------------|
| | | AT | Firmeza | L* (claridade) | Cromaticidade | Ângulo hue |
| Tempo | (07) | 0.0045 ** | 4171,933 ** | 395,218 ** | 40,936 ** | 612,483 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | | | |
| Tratamento com 1-MCP | (01) | 0.00017 ns | 2335,230 ** | 614,543 ** | 50,184 ** | 713,560 ** |
| Tempo x trat. com 1-MCP | (07) | (0.0041)** | (366,741) ** | (17,389)** | (5,726) * | (37,246)** |
| Tempo dentro de dose 1 | | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 0.0091 ** | 8842,156 ** | 1652,490 ** | 18,231 ** | 2680,428 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 0.0247 ** | 4713,329 ** | 39,681 ** | 72,863 ** | 13,717 ns |
| Regressão cúbica | 01 | 0.0029 ** | 1108,979 ** | 20,972 * | 2,722 ns | 79,724 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 0.0033 ** | 22,177 ns | 6,366 ns | 6,043 * | 72,255 ** |
| Tempo dentro de dose 2 | | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 0.002 ** | 14752,349 ** | 999,851 ** | 116,464 ** | 1153,785 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 0.0047 ** | 1237,002 ** | 0,988 ns | 50,994 ** | 7,298 ns |
| Regressão cúbica | 01 | 0.0025 ** | 83,560 ns | 0,0129 ns | 9,790 * | 86,934 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 0.0002 ns | 236,161 ** | 37,199 ** | 7,849 ** | 59,299 ** |
| Resíduo | 32 | 0.000196 | 39,223 | 4,275 | 1,889 | 6,538 |
| CV(%) | | 8.60 | 25,55 | 3,80 | 6,86 | 3,50 |

*/** F-significativo a 5% e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA 1B2- Resumo das análises de variâncias para aparência externa, perda de massa, pH, sólidos solúveis (SS) e açúcares solúveis totais (AST) de sapotis tratados ou não com 1-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

| Causas de variação | Graus de liberdade | Quadrados médios | | | | |
|-------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------|----------|----------|
| | | Aparência externa | Perda de massa | pH | SS | AST |
| Tempo | (07) | 9,96 ** | 62,139 ** | 0,416 ** | 2,239 ns | 8,508 ns |
| Regressão linear | 01 | | | 2,029 ** | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | 0,006 ns | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | 0,0029 ns | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | 0,2181 ** | | |
| Tratamento com 1-MCP | (01) | 10,83 ** | 0,157 ns | 0,0475 ns | 0,801 ns | 2,535 ns |
| Tempo x trat: com 1-MCP | (07) | 1,43 ** | (1,109) ** | 0,032 ns | 3,259 ns | 4,474 ns |
| Tempo dentro de dose 1 | | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 49,97 ** | 147,011 ** | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 3,42 ** | 6,851 ** | | | |
| Regressão cúbica | 01 | 0,97 ** | 3,490 ** | | | |
| Desvio de regressão | 04 | 0,106 ns | 2,489 ** | | | |
| Tempo dentro de dose 2 | | | | | | |
| Regressão linear | 01 | 14,12 ** | 202,756 ** | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 7,33 ** | 3,509 ** | | | |
| Regressão cúbica | 01 | 2,41 ** | 0,348 ns | | | |
| Desvio de regressão | 04 | 0,27 ** | 2,687 ** | | | |
| Resíduo | 32 | 0,067 | 0,196 | 0,0333 | 2,397 | 3,970 |
| CV(%) | | 12,23 | 8,10 | 3,61 | 7,22 | 13,67 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente.

ns=não significativo

TABELA B3- Resumo das análises de variância para pectina total e solúvel da polpa, hemicelulose e políuronídeos da parede celular isolada de sapositis tratados ou não com l-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

| Quadrados médios | | Causas de variação | | | |
|-------------------------|------|--------------------|---------------|-----------------|--------------|
| | | Graus de liberdade | Pectina total | Pectina solúvel | Hemicelulose |
| | | | Políuronídeos | | |
| Tempo | (07) | 5501,05 ** | 74457,598 ** | 15,739 ** | 206,988 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | | |
| Desvio de regressão | 04 | 196863,57 ** | 78757,112 ** | 43,949 ** | 66,059 ** |
| Tratamento com l-MCP | (01) | | | | |
| Tempo x Trat. com l-MCP | (07) | 5455,63 ** | (4712,171) ** | (2,041) ** | (2,457) ** |
| Tempo dentro de dose 1 | 01 | 11240,99 ** | 322384,157 ** | 63,342 ** | 421916 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 2385,88 ns | 26908,653 ** | 10,382 ** | 296,378 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 3771,59 ns | 9099,775 ** | 0,356 ns | 113,315 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 989,97 ns | 8004,455 ** | 0,756 ** | 2,491 ** |
| Tempo dentro de dose 2 | 01 | 17487,95 ** | 142357,128 ** | 43737 ** | 384,937 ** |
| Regressão linear | 01 | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 27152,01 ** | 15049,499 ** | 0,884 * | 182,475 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 5090,57 * | 3244,065 ns | 0,605 ns | 46,996 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 1506,98 ns | 781,823 ns | 0,533 * | 2,534 ** |
| Resíduo | 32 | 1003,70 | 891,381 | 0,166 | 0,225 |
| CV(%) | | 4,60 | 8,26 | 7,99 | 5,11 |

*/** F significativo a 5% e 1%, respectivamente.

ns= não significativo

TABELA B4-Resumo das análises de variância para os açúcares neutros: ramosse, manose, glicose, arabinose, xilose e galactose da parede celular isolada de saposis tratados ou não com I-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

| Causas de variação | | Quadrados médios | | | | |
|-------------------------|---------|------------------|------------|------------|--------------|--------------|
| Graus de liberdade | Ramosse | Manose | Glicose | Arabinose | Xilose | Galactose |
| Tempo | (07) | 47,639 ** | 16,120 ** | 28,389 ** | 4238,337 ** | 3060,764 ** |
| Tempo dentro de dose 1 | 01 | 90,868 ** | 51,018 ** | 129,786 ** | 7511,143 ** | 10985,770 ** |
| Tempo dentro de dose 2 | 04 | 2,282 ** | 1,207 ** | 3,265 ** | 1149,441 ** | 978,838 ** |
| Regressão linear | 01 | 47,283 ** | 6,865 ** | 3,526 ** | 4263,888 ** | 618,350 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 43,411 ** | 9,455 ** | 24,678 ** | 2586,310 ** | 1435,617 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 43,411 ** | 9,455 ** | 24,678 ** | 2586,310 ** | 1435,617 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 2,282 ** | 1,207 ** | 3,265 ** | 1149,441 ** | 978,838 ** |
| Tempo dentro de dose 1 | (07) | (0,493) ** | (1,054) ** | (5,280) ** | (161,943) ** | (467,274) ** |
| Tempo x Trat. com I-MCP | (01) | 8,492 ** | 0,557 ns | 54,187 ** | 348,679 ** | 444,935 ** |
| Tempo x Trat. com I-MCP | (07) | (0,493) ** | (1,054) ** | (5,280) ** | (161,943) ** | (467,274) ** |
| Regressão linear | 01 | 75,810 ** | 28,058 ** | 43,381 ** | 11658,708 ** | 6594,218 ** |
| Regressão quadrática | 01 | 45,102 ** | 14,772 ** | 3,999 ** | 3805,989 ** | 466,192 ** |
| Regressão cúbica | 01 | 21,366 ** | 3,683 ** | 0,0031 ns | 252,141 ** | 175,703 ** |
| Desvio de regressão | 04 | 0,989 ** | 0,385 ns | 4,313 ** | 31,503 * | 126,266 ** |
| Resíduo | 32 | 0,105 | 0,153 | 0,306 | 11,593 | 11,298 |
| CV(%) | | 9,00 | 11,87 | 7,00 | 12,83 | 5,23 |
| | | | | | | 6,13 |

ns= não significativo

**= F significativo a 5% e 1%, respectivamente.

TABELA 1B5-Resumo das análises de variância para atividade da enzima: poligalacturonase (PG), pectinametilesterase (PME) e β -galactosidase de sapotis tratados ou não com I-MCP e armazenados, sob atmosfera modificada, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ UR.

| Quadrados médios | | PG | | PME | | β -galactosidase | |
|-------------------------|------|--------------------|--------------|-----|--|------------------------|--|
| Causas de variação | | Graus de liberdade | | | | | |
| Tempo | (07) | 9,880 ** | 17103,473 ** | | | 153044,901 ** | |
| Regressão linear | 01 | | | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | | | | | | |
| Regressão cúbica | 01 | | | | | | |
| Desvio de regressão | 04 | | | | | | |
| Tratamento com I-MCP | (01) | 2,210 ** | 34400,521 ** | | | 168696,653 ** | |
| Tempo x trat. com I-MCP | (07) | 6,488 ** | 5981,759 ** | | | 49234,087 ** | |
| Tempo dentro de dose 1 | 01 | 0,000 ns | 5127,924 * | | | 240271,484 ** | |
| Regressão linear | 01 | | | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 22,335 ** | 56277,486 ** | | | 103166,909 ** | |
| Regressão cúbica | 01 | 16,341 ** | 192,363 ns | | | 80409,027 ** | |
| Desvio de regressão | 04 | 3,669 ** | 4168,879 ** | | | 3366,778 * | |
| Tempo dentro de dose 2 | 01 | 5,544 ** | 19609,607 ** | | | 816822,541 ** | |
| Regressão linear | 01 | | | | | | |
| Regressão quadrática | 01 | 35,794 ** | 13667,343 ** | | | 1239,369 ns | |
| Regressão cúbica | 01 | 3,443 ** | 36636,766 ** | | | 86871,625 ** | |
| Desvio de regressão | 04 | 4,111 ** | 5852,404 ** | | | 18426,213 ** | |
| Resíduo | 32 | 0,169 | 950,479 | | | 1225,559 | |
| | | 7,00 | 8,83 | | | 12,07 | |

*/** F significativo a de 5% e 1%, respectivamente.

ns= não significativo





