

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONSERVAÇÃO DE GOIABA ‘PEDRO SATO’ UTILIZANDO
RECOBRIMENTOS À BASE DE HIDROXIPROPIL METIL
CELULOSE E CERA DE ABELHA**

Anderson dos Santos Formiga

Engenheiro de alimentos

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONSERVAÇÃO DE GOIABA ‘PEDRO SATO’ UTILIZANDO
RECOBRIMENTOS À BASE DE HIDROXIPROPIL METIL
CELULOSE E CERA DE ABELHA**

Discente: Anderson dos Santos Formiga

Orientador: Dr. Ben Hur Mattiuz

Coorientador: Dr. Franciscleudo Bezerra da Costa

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Produção vegetal)**

2019

F725c Formiga, Anderson dos Santos
Conservação de goiaba 'Pedro Sato' utilizando recobrimentos à
base de hidroxipropil metil celulose e cera de abelha / Anderson dos
Santos Formiga. -- Jaboticabal, 2019
76 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Ben-Hur Mattiuz
Coorientador: Franciscleudo Bezerra da Costa

1. Tecnologia pós-colheita. 2. Revestimentos comestíveis. 3.
Bioquímica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONSERVAÇÃO DE GOIABA 'PEDRO SATO' UTILIZANDO RECOBRIMENTOS À BASE DE HIDROXIPROPIL METIL CELULOSE E CERA DE ABELHA

AUTOR: ANDERSON DOS SANTOS FORMIGA

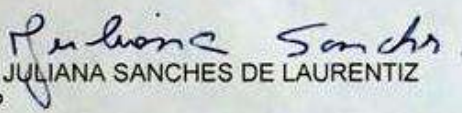
ORIENTADOR: BEN-HUR MATTIUZ

COORDENADOR: FRANCISCLEUDO BEZERRA DA COSTA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ
Departamento de Tecnologia / UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Jaboticabal / SP



Pesquisadora Dra. JULIANA SANCHES DE LAURENTIZ
IAC / Campinas/SP



Profa. Dra. TERESINHA DE JESUS DELEO RODRIGUES
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 15 de março de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Anderson dos Santos Formiga, nascido em Pombal, Paraíba, no dia 17 de março de 1991. Filho de José de Anchieta Formiga Pereira e Meire Rute dos Santos. Em 2012, ingressou no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, câmpus de Pombal. A partir do 2º período do curso foi estagiário do Grupo de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos. Participou do Programa de Iniciação Científica, CNPq, de setembro de 2014 a agosto de 2015, e, de setembro de 2015 a agosto de 2016, foi bolsista do Programa de Iniciação Científica, CNPq, no projeto Atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) em brotos de palma para o consumo humano como hortaliça. Com defesa da monografia em dezembro de 2016, recebeu o título de Engenheiro de Alimentos em fevereiro de 2017. Em março do mesmo ano, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista, em Jaboticabal-SP, com área de concentração em fisiologia pós-colheita de frutos e hortaliças e sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Os únicos limites do homem são: o tamanho das suas ideias e o grau da sua dedicação.

F. Veiga

Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram.

Alexandre Graham Bell

Aos meus pais José de Anchieta e Meire Rute, por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui.

À minha namorada Danielli Lopes,
que mesmo estando longe me deu força para continuar.

Aos meus avós Raimundo Pereira e Francisca Formiga, pelo constante incentivo, amor e carinho!

A minha irmã Kayza Formiga,
que partilha comigo desta vitória.

Aos meus amigos e familiares que acreditaram em mim e me incentivaram para a realização deste trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser presença constante em minha vida.

Ao meu orientador Prof. Ben-Hur Mattiuz, pela oportunidade, paciência e ensinamentos que levarei por toda a minha vida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, pela infraestrutura.

À Comissão do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela realização do curso de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Franciscleudo Bezerra da Costa, pela amizade e por dispor seu tempo para me ajudar com as análises enzimáticas.

À empresa Colorcon pelo fornecimento do HPMC utilizado neste trabalho.

À empresa Val frutas pelo fornecimento dos frutos.

À toda equipe do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita, em especial a Emmanuel Pereira, José Pinsetta Junior e Isabela Cordeiro pela amizade e as valiosas contribuições durante essa jornada e aos demais membros do grupo de Pós-colheita que de forma direta ou indireta contribuíram na realização deste trabalho.

A minha namorada Danielli Lopes pelos conselhos, apoio, dedicação e pela compreensão nos momentos difíceis.

A minha amiga Yasmin Brasil que me apoiou e fez parte dessa trajetória.

E a todos que contribuíram de alguma maneira para a conclusão deste trabalho, e desta etapa da minha vida.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	3
3. Referências bibliográficas	8
CAPÍTULO 2 - USO DE RECOBRIMENTOS COMESTÍVEIS A BASE DE HIDROXIPROPIL METIL CELULOSE E CERA DE ABELHA NA CONSERVAÇÃO DE GOIABA VERMELHA 'PEDRO SATO'	14
1. Introdução	16
2. Material e métodos.....	17
3. Resultados e discussão	22
4. Conclusões	35
5. Agradecimentos	36
6. Referências.....	36
CAPÍTULO 3 - HIDROXIPROPIL METIL CELULOSE E CERA DE ABELHA ESTENDEM O PERÍODO DE ARMAZENAMENTO DE GOIABA VERMELHA 'PEDRO SATO'	41
1. Introdução	43
2. Material e métodos.....	44
3. Resultados e discussão	51
4. Conclusões	69
5. Agradecimentos	70
6. Referências.....	70

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. Introdução

A goiaba é uma fruta muito popular no Brasil, é mundialmente conhecida e tem natureza climática. É oriunda da América tropical, provavelmente, da região entre o sul do México e o norte da América do Sul. Esta espécie é amplamente distribuída por regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo (Gonçalves et al., 2016).

A goiaba é uma fruta doce, que atrai o consumidor brasileiro, apresentando excelentes características organolépticas, elevado valor nutricional e alto rendimento de polpa (Campos et al., 2011). Seus frutos contêm grandes quantidades de fósforo, vitaminas A, B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e C (ácido ascórbico) e as goiabas vermelhas são fontes de licopeno (Gill, 2015). A goiaba é também conhecida por suas propriedades medicinais. Pois, as pectinas presentes nos frutos desempenham um papel significativo na redução do colesterol e diminuem o risco de doenças cardiovasculares, a casca é rica em ácido ascórbico e fenóis, o que torna a goiaba uma excelente fonte de antioxidantes (Gill, 2015).

No Brasil, a goiaba movimenta anualmente R\$ 508,6 milhões (Kist et al., 2018) e a produção está concentrada nos estados do Pernambuco e São Paulo (AGRIANUAL, 2018). Contudo, a produção fica limitada ao mercado nacional, onde é comercializada na forma *in natura*, industrializada (doces e sucos) e desidratada (Choudhury et al., 2001).

O rápido amadurecimento da goiaba dificulta ou até mesmo impossibilita o produtor de enviar os frutos a centros consumidores mais distantes, devido às perdas irreparáveis que ocorrem no percurso (Xisto et al., 2004). Isso ocorre devido ao aumento da taxa respiratória durante o amadurecimento e da maior biossíntese de etileno, que modula a taxa de amadurecimento dos frutos (Gonçalves et al., 2016). As altas taxas de respiração dão aos frutos uma vida útil muito curta após a

colheita, entre 3-5 dias (25 °C), o que limita o período de transporte e armazenamento (Xisto et al., 2004; Barbosa e Lima, 2010). Os principais aspectos de deterioração envolvem o rápido amolecimento dos frutos, a perda de coloração verde da casca, o murchamento e a incidência de doenças (Campos et al., 2011).

Pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novas tecnologias para a redução das perdas pós-colheita são fundamentais para a economia (Assis et al., 2009). Os recobrimentos comestíveis são considerados uma tecnologia ecologicamente correta, capaz de prolongar a vida útil de frutas e vegetais (Fagundes et al., 2013b). São uma boa alternativa aos conservantes quimicamente sintetizados, além de serem economicamente viáveis (Nair et al., 2018). Os recobrimentos atuam principalmente como barreira a gases e vapor de água, modificando a atmosfera interna dos frutos, diminuindo a degradação e aumentando a vida de prateleira dos mesmos (Luvielmo e Lamas, 2012). Reduzem a perda de água e a taxa de respiração, evitam danos físicos e melhoram a aparência do produto (Fagundes et al., 2013b).

O hidroxipropil metil celulose (HPMC) é um derivado da celulose e pode ser empregado em revestimentos comestíveis graças a sua habilidade de formar revestimentos gelatinosos, sob indução térmica (Maia et al., 2000). Revestimentos de polissacarídeos como o HPMC são eficientes barreiras ao fluxo de O₂ e de CO₂ e quando combinados com cera de abelha tornam-se eficientes barreiras à perda de água (Sothornvit, 2009). Na literatura é possível encontrar vários trabalhos demonstrando os benefícios do recobrimento com HPMC no prolongamento da vida de pós-colheita de ameixas (Navarro-Tarazaga et al., 2011), laranjas (Perez-Gago et al., 2002), tomate cereja (Fagundes et al., 2013b) e berinjelas (Pinsetta Junior, 2018).

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do recobrimento comestível a base de Hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha na conservação de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas a temperatura ambiente.

2. Revisão de literatura

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), devido a qualidade dos seus frutos, é a espécie mais importante da família *Myrtaceae* (Barbosa e Lima, 2010). Podem ser cultivadas em regiões de clima tropical e subtropical e sua exploração comercial teve início em 1526 nas ilhas caribenhas (Pommer et al., 2006).

É uma fruta doce, tem forma de bagas verdes ou amarelas com casca bem rugosa, apresenta polpa firme e aromática, de cor branca, rósea, avermelhada ou arroxeada, podendo ser consumidas tanto *in natura* como na sua forma processada (compotas, doces, sorvetes e geleias) (Basseto, 2002; Forato et al., 2015; Fráguas, 2016).

O Brasil é o 8º maior produtor de goiabas, com produção anual de 424 mil toneladas da fruta, gerando R\$ 508,6 milhões em 2016 (Gill, 2015; AGRIANUAL, 2018; Kist et al., 2018). O estado de São Paulo é o segundo maior produtor, sendo responsável por 34% da produção brasileira, com 4,6 mil ha plantados (AGRIANUAL, 2018). As goiabas vermelhas são as preferidas pelo mercado consumidor brasileiro. Somente na CEAGESP-SP essas goiabas representam 92% do total comercializado para o mercado *in natura*, o que corresponde a R\$ 47 milhões por ano. O Brasil é o maior produtor de goiabas vermelhas e são amplamente produzidas por todo país (Braga et al., 2018).

O consumo *in natura* de goiabas vermelhas se justifica pelo seu valor nutritivo e é considerada pelos nutricionistas como uma das frutas mais completas e equilibradas. Essas frutas são ricas em zinco, fibras, niacina e licopeno. Contém quatro vezes mais vitamina C que a laranja, além de concentrar altas quantidades de minerais (P, Mg, Fe e Ca), vitaminas A, E e do complexo B (Choudhury et al., 2001; Fráguas, 2016) .

Dentre as cultivares, a 'Pedro Sato' é uma das mais plantadas no Brasil e seu mercado é voltado para o consumo *in natura* (Haida et al., 2015). Produzem frutos com formato oblongo, a polpa é firme, espessa, de cor rosada, com sabor agradável,

com uma cavidade central com poucas sementes e de casca bem rugosa, o que confere maior resistência ao transporte e a comercialização (Bassetto, 2002).

As goiabas da cultivar Pedro Sato apresentam comportamento tipicamente climatérico, tornando-se uma fruta altamente perecível. Conforme o relatado em pesquisas, os frutos completam o processo de maturação em poucos dias após a colheita, tendo vida útil relativamente curta (3 a 4 dias), quando mantida à temperatura ambiente (Azzolini et al., 2005; Oliveira et al., 2018). Os principais aspectos da deterioração incluem amolecimento, perda da coloração verde externa, do brilho e o apodrecimento (Gonçalves et al., 2016). Dentre os fatores mencionados, a firmeza é o atributo mais importante, pois além de manter a qualidade da fruta para o consumo *in natura*, também contribui para a conservação da fruta após a colheita, proporcionando maior resistência e proteção a danos físicos durante o transporte e resistência ao ataque de microrganismos (Abreu et al., 2012a).

A perda de firmeza e as inúmeras transformações químicas que ocorrem durante o amadurecimento dos frutos estão relacionadas à ação de enzimas específicas, como as celulases, a pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) (Abreu et al., 2012b). A PME prepara o substrato para a ação da PG ao desesterificar a pectina metoxilada presente nas paredes celulares, essa ação ocorre no C₆ do grupo carboxílico dos resíduos de galacturosil (Linhares et al., 2007; Murmu e Mishra, 2018). Isso torna os locais expostos acessíveis a posterior degradação pela PG, que hidrolisa as ligações α -1,4 glicosídicas entre os resíduos de ácido galacturônico (Murmu e Mishra, 2018).

Dentre as principais técnicas de conservação conhecidas, a refrigeração é o método mais utilizado na conservação de produtos frescos. Apesar disso, a refrigeração por si não é suficiente para a conservação de alguns vegetais, apresenta custo elevado e quando utilizada em temperaturas inferiores a 8 °C não é adequada para frutas semitropicais e tropicais, que são sensíveis a baixas temperaturas e podem desenvolver, nestas condições, desordens fisiológicas que comprometem completamente a qualidade das mesmas (Barbosa e Lima, 2010; Steffens et al., 2008; Zhao, 2018).

O uso de revestimentos comestíveis tem se demonstrado uma técnica eficiente, alternativa e/ou complementar à refrigeração para a conservação dos vegetais. Seu emprego data do século XIII, quando chineses aplicavam ceras para conservar frutas cítricas em viagens marítimas (Fráguas, 2016).

Os revestimentos comestíveis compreendem geralmente duas partes: um agente formador de película que proporciona as propriedades mecânicas, e um material hidrofóbico, normalmente gordura, que confere a propriedade de barreira à água (Debeaufort et al., 1994). Podem ser classificados em: recobrimentos e filmes comestíveis. A principal diferença entre estes sistemas de revestimento é que os recobrimentos são aplicados em sua forma líquida, geralmente por imersão do produto e os filmes são inicialmente moldados para serem aplicados como um invólucro sobre o alimento (Falguera et al., 2011). Assim, os recobrimentos ficam em contato direto com o produto, originando uma nova camada na superfície. Os recobrimentos são geralmente imperceptíveis a olho nu e apresentam diversas características estruturais que são dependentes da formulação da solução filmogênica precursora (Assis e Britto, 2014).

Ao imergir uma fruta em uma solução filmogênica, a cobertura se forma pela deposição das espécies poliméricas dissolvidas no meio, estabelecendo ligações, fracas e fortes, com a superfície da fruta (Assis e Britto, 2014). A espessura final da película formada pelo material polimérico é dependente da concentração e da massa molecular do polímero dissolvido (Assis et al., 2009).

Se corretamente aplicados, os revestimentos proporcionam atraso no amadurecimento e reduzem a perda de massa e as trocas gasosas, sem causar alterações no metabolismo (Cerqueira et al., 2011). A principal função dos recobrimentos comestíveis é oferecer uma barreira protetora à água, oxigênio, sabor, aroma, entre outros, entre o vegetal e o ambiente. A aplicação de recobrimentos é uma tecnologia simples que forma uma cobertura que preenche parcialmente os estômatos e as lenticelas, reduzindo dessa forma a perda de água (transpiração) e as trocas gasosas (respiração) por meio da modificação da atmosfera interna dos frutos, diminuindo a degradação e aumentando a vida de

prateleira dos mesmos (Assis et al., 2009; Navarro-Tarazaga et al., 2011; Luvielmo e Lamas, 2012).

Além disso, os recobrimentos comestíveis devem apresentar certas peculiaridades como terem aderência suficiente para não serem facilmente removidos no manuseio e não introduzirem alterações no sabor e odor (Assis et al., 2008). Outra característica importante é o aumento do brilho superficial que torna o vegetal revestido mais atraente ao consumidor (Oshiro et al., 2011).

A base dos filmes e recobrimentos comestíveis são os biopolímeros, como os polissacarídeos, proteínas e lipídeos, que são derivados de várias fontes naturais (Villadiego et al., 2004). Entre os polissacarídeos pode-se destacar o amido, o alginato, a quitosana e os derivados de celulose. A cera de carnaúba e de abelha e o óleo de girassol são os materiais lipídicos mais empregados em revestimentos e entre os materiais proteicos as zeínas, as gelatinas e as proteínas do soro (Villadiego et al., 2005; Assis et al., 2009; Luvielmo e Lamas, 2012). Dentre os polissacarídeos os derivados de celulose têm sido extensivamente utilizados nas últimas décadas, principalmente pelo potencial de aplicação, sua biodegradabilidade e solubilidade em água, e sua capacidade de formação de filmes e recobrimentos (Tosati, 2013).

O hidroxipropil metil celulose (HPMC) é um material comestível derivado de celulose, muito utilizado pela indústria farmacêutica, que é obtido pela reação da celulose alcalina com óxido de propileno e cloreto de metila (Von Elbe, 1996). Esse material pode ser empregado em recobrimentos comestíveis e apresenta habilidade para formar revestimentos gelatinosos (sob indução térmica), mesmo em baixas concentrações (Maia et al., 2000; Sothornvit, 2009).

Recobrimentos a base de derivados de celulose (HPMC), são especificamente formulados para reduzir o fluxo de O_2 e CO_2 , criando um ambiente capaz de retardar o amadurecimento do fruto ao inibir a expressão de genes relacionados à senescência (McGuire e Hallman, 1995; Tran et al., 2015). Concentrações menores de O_2 nos tecidos têm efeito inibitório na biossíntese de etileno e causa a redução da atividade respiratória durante o amadurecimento (Chitarra e Chitarra, 2005; Singh e Pal, 2008). Reduzem as atividades das enzimas

de amaciamento nos tecidos e permitem a manutenção da firmeza durante o armazenamento (Chitravathi et al., 2014). Entretanto, baixas concentrações de O₂ podem induzir o início da respiração anaeróbica, o que poderia levar à produção de odores e sabores indesejáveis (Benítez et al., 2014). Esse efeito indesejado deve ser considerado na escolha da concentração de HPMC a ser usada na elaboração do recobrimento comestível.

Alguns aditivos são importantes na composição dos recobrimentos comestíveis, dentre eles, os agentes plastificantes são comumente empregados nos recobrimentos com o objetivo de melhorar suas características físicas ou mecânicas, como flexibilidade, força e resistência do revestimento (Luvielmo e Lamas, 2012). Durante o armazenamento, nos órgãos vivos dos vegetais ocorrem processos fisiológicos que geram pequenas alterações de volume e de textura. A adição de plastificantes que deem as coberturas mais flexibilidade é imprescindível para acompanhar essas pequenas alterações sem geração de danos estruturais, como trincas ou destacamento (Assis e Britto, 2014). O glicerol é um plastificante que reduz as pontes de hidrogênio, ampliando os espaços intermoleculares, aumentando a flexibilidade e a permeabilidade do recobrimento (Cerqueira et al., 2011).

O HPMC forma uma deficiente barreira à perda de água devido à sua natureza hidrofílica (Sothornvit, 2009). Uma forma de melhorar a funcionalidade de um recobrimento é combinar materiais lipídicos com polissacarídeos para formar revestimentos compostos (Perez-Gago e Krochta, 2005). A cera de abelha (lipídio) é um material hidrofóbico e funciona como melhor barreira à perda de água do que os polissacarídeos, é frequentemente usada para melhorar as características de revestimentos que não tenham boas propriedades de barreira à perda de água (Perez-Gago e Krochta, 2005; Fagundes et al., 2013a). No entanto, em muitos casos, os polissacarídeos possuem um caráter anfifílico limitado e a adição de emulsificadores como o ácido esteárico, é necessária para melhorar a estabilidade da emulsão (Perez-Gago e Krochta, 2005).

Diversos trabalhos sobre os efeitos do HPMC (associado ou não a outras substâncias) nos vegetais estão disponíveis na literatura. Um estudo realizado por McGuire e Hallman (1995) avaliou o efeito de recobrimentos de HPMC na

conservação de goiabas e os resultados demonstraram que esses recobrimentos retardam o amadurecimento desses frutos. Estudos com recobrimentos de HPMC e cera de abelha (CA) em ameixas (Navarro-Tarazaga et al., 2011), em tangerinas (Perez-Gago et al., 2002) e em berinjelas minimamente processado (Pinsetta Junior, 2018) demonstraram o potencial de recobrimentos que combinam o HPMC e um material hidrofóbico (CA). Além disso, há estudos sobre recobrimentos comestíveis de HPMC e CA combinados com óleos essenciais em ameixas (Choi et al., 2016) e mangas (Klangmuang e Sothornvit, 2018) e combinados com aditivos químicos em tangerinas (Valencia-Chamorro et al., 2011). Esses estudos demonstram a capacidade dos recobrimentos a base de HPMC de reduzir as trocas gasosas, a perda massa fresca e de firmeza, e quando acompanhado de algum aditivo pode servir como base para elaboração de recobrimentos com propriedades antimicrobianas.

3. Referências bibliográficas

- Abreu JR, Donizete C, Maria C, Abreu P, Carla A, Pinheiro M, Corrêa AD (2012) Ripening pattern of guava cv . Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 32:344–350. a.
- Abreu JR, Santos CD, Abreu MCP, Castro EM (2012) Histochemistry and morphoanatomy study on guava fruit during ripening. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 32: 179–186. b.
- AGRIANUAL (2018) Goiaba In: AGRIANUAL (23 ed.) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 285–287.
- Assis OBG, Britto D (2014) Revisão : coberturas comestíveis protetoras em frutas : fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology** 17: 87–97.
- Assis OBG, Britto D, Forato LA (2009) O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p. 23.

Assis OBG, Forato LA, Britto D (2008) Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. **Higiene Alimentar** 22: 99–106.

Azzolini M, Jacomino AP, Bron IU, Kluge RA, Schiavinato MA (2005) Ripening of “Pedro Sato” guava: Study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17: 299–306.

Barbosa FR, Lima MF (2 ed.) (2010) A cultura da goiaba. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.180.

Bassetto E (2002) **Conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ tratadas com 1-metilciclopropeno: concentrações e tempos de exposição**. 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Benítez S, Soro L, Achaerandio I, Sepulcre F, Pujolá M (2014) Combined effect of a low permeable film and edible coatings or calcium dips on the quality of fresh-cut pineapple. **Journal of Food Process Engineering** 37: 91–99.

Braga MA, Marques TR, Simão AA, Botelho NLS, Oliveira LS, Abreu MCP (2018) Mechanism of firmness loss in guava cv. Pedro Sato during ripening at room temperature. **Food Science and Technology** 38: 26–32.

Campos AJ, Fujita É, Moraes MR, Neves LC, Vieites RL, Chagas EA (2011) Conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ minimamente processadas e irradiadas. **Rev. Agro@Mambiente on-Line** 5: 66–74.

Cerqueira TS, Jacomino AP, Sasaki FF, Alleoni ACC (2011) Recobrimento de goiabas com filmes proteicos e de quitosana. **Bragantia** 70: 216–221.

Chitarra MIF, Chitarra AB (2 ed.) (2005) Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA, 785 p.

Chitravathi K, Chauhan OP, Raju PS (2014) Postharvest shelf-life extension of green chillies (*Capsicum annuum* L.) using shellac-based edible surface coatings. **Postharvest Biology and Technology** 92: 146–148.

Choi WS, Singh S, Lee YS (2016) Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of ‘Formosa’

plum (*Prunus salicina* L.). **LWT - Food Science and Technology** v. 70: 213–222.

Choudhury MM, Costa TS, Araújo JLP (2001) Agronegócio da goiaba, in: Choudhury MM (Eds.), **Goiaba: Pós-Colheita**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, p. 45.

Debeaufort F, Voilley A, Meares P (1994) Water vapor permeability and diffusivity through methylcellulose edible films. **Journal of Membrane Science** 91: 125–133.

Fagundes C, Carciofi BAM, Monteiro, AR (2013) Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. **Food Science and Technology** 33: 60–67. a.

Fagundes C, Pérez-Gago MB, Monteiro AR, Palou L (2013) Antifungal activity of food additives in vitro and as ingredients of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings against *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* on cherry tomato fruit. **International Journal of Food Microbiology** 166: 391–398. b.

Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, Ibarz A (2011) Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology** 22: 292–303.

Forato LA, Britto D, Rizzo JS, Gastaldi TA, Assis OBG (2015) Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life** 5: 68–74.

Fráguas RM (2016) **Tratamento pós-colheita de goiabas Pedro Sato com quitosanas**. 88 f. Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Gayathri T, Nair AS (2017) Biochemical analysis and activity profiling of fruit ripening enzymes in banana cultivars from Kerala. **Journal of Food Measurement and Characterization** 11: 1274–1283.

Gill KS (2015) Guavas. **Encyclopedia of Food and Health** 270–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00363-9>

Gonçalves BJ, Márcio T, Giarola DO, Resende JV (2016) Using infrared thermography to evaluate the injuries of cold-stored guava. **Food Science and**

Technology 53: 1063–1070.

Haida KS, Haas J, Mello SAM, Haida KS, Abrão RM, Sahd R (2015) Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante de Goiaba (*Psidium guajava* L.) Fresca e Congelada. **Revista Fitos** 9: 37–44.

Kist BB, Carvalho C, Treichel M, Santos CE (Eds.) (2018) Anuário brasileiro da fruticultura. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, p. 88.

Klangmuang P, Sothornvit R (2018) Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv . Namdokmai Sithong). **Food Bioscience** 23: 9–15.

Linhares LA, Santos CD, Abreu CMP, Corrêa AD (2007) Transformações químicas, físicas e enzimáticas de goiabas ‘Pedro Sato’ tratadas na pós-colheita com cloreto de cálcio e 1-metilciclopropeno e armazenadas sob refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 829–841.

Luvielmo MM, Lamas SV (2012) Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia** 8: 8–15.

Maia LH, Porte A, Souza VFDE (2000) Filmes comestíveis: Aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. **B. CEPPA** 18: 105–128.

McGuire RG, Hallman GJ (1995) Coating guavas with cellulose- or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening. **HortScience** 30: 294–295.

Murmu SB, Mishra HN (2018) Post-harvest shelf-life of banana and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 49: 20–30.

Nair MS, Saxena A, Kaur C (2018) Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry** 240: 245–252.

Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago MB (2011) Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology** 44:

2328–2334.

Oliveira VRL, Santos FKG, Leite RHL, Aroucha EMM, Silva KNO (2018) Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry** 259: 55–64.

Oshiro AM, Scalon SPQ, Argandoña EJS, Zárate AH (2011) Conservação pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’ em atmosfera modificada, associada ou não à refrigeração. **Revista Agrarian** 4: 294–302.

Perez-gago MB, Krochta JM (2005) Innovations in Food Packaging. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-311632-1.X5031-1>

Perez-Gago MB, Rojas C, Del Rio MA (2002) Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of mandarins cv. fortune. **Journal of Food Science** 67: 2903–2910.

Pinsetta Junior S (2018) **Recobrimento comestível com hidroxipropilmetilcelulose e agentes antiescurecimento em berinjela minimamente processada**. 47 f. Dissertação (Mestrado em agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Pommer CV, Murakami KRN, Watlington F (2006) Goiaba no mundo. **O agrônomo** 58: 22–26.

Singh SP, Pal RK (2008) Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology** 47: 296–306.

Sothornvit R (2009) Effect of hydroxypropyl methylcellulose and lipid on mechanical properties and water vapor permeability of coated paper. **Food Research International** 42: 307–311.

Steffens CA, Amarante CVT, Silveira JPG, Chechi R, Espindola BP (2008) Tolerância ao dano pelo frio e qualidade pós-colheita em goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao condicionamento térmico. **Biotemas** 21: 75–80.

Tosati JV (2013) **Determinação da taxa de respiração de tomate cereja e da**

permeabilidade à gás de filme comestível a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). 47 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Tran DT, Verlinden BE, Hertog M, Nicolaï BM (2015) Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of “Greenstar” apples using chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae** 184: 18–22.

Valencia-Chamorro SA, Palou L, Del Río MÁ, Pérez-Gago MB (2011) Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of “Clemenules” mandarins. **LWT - Food Science and Technology** 44: 2342–2348.

Villadiego AMD, Soares NFF, Andrade NJ, Pushman R, Minim VPR, Cruz R (2005) Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. **Revista Ceres** 52: 221-244.

Von Elbe JH (1996) Colorants, in: Fennema, O.R. (3 ed.) **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, Inc, p. 1262.

Xisto ALRP, Abreu CMP, Corrêa AD, Santos CD (2004) Textura de goiabas “Pedro Sato” submetidas à aplicação de cloreto de cálcio. **Ciência e Agrotecnologia**. 28: 113–118.

Zhao Y (2018) Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. **Reference Module in Food Science**, 1–5.

CAPÍTULO 2 - Uso de recobrimentos comestíveis a base de hidroxipropil metil celulose e cera de abelha na conservação de goiaba vermelha 'Pedro Sato'

RESUMO - As goiabas são frutas tropicais e climatéricas, de curto período de conservação pós-colheita à temperatura ambiente. Com o objetivo de prolongar a vida útil de goiabas da 'Pedro Sato', avaliou-se o efeito de recobrimentos comestíveis a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e de cera de abelha (CA) nas concentrações de 10%, 20% e 40%, em goiabas armazenadas por oito dias a 21 °C. O HPMC+CA formaram uma atmosfera modificada ao redor dos frutos provocando um retardamento do processo de amadurecimento das goiabas. Os frutos com recobrimento apresentaram redução na perda de massa, manutenção da coloração verde e maior firmeza. Nas condições do experimento, os frutos não revestidos apresentaram uma vida útil de apenas seis dias. O tratamento com HPMC+20% CA foi o que apresentou os melhores resultados na manutenção da qualidade dos frutos, apresentando aos oito dias características físico-químicas comparáveis aos frutos controle no segundo dia de armazenamento, representando um ganho de seis dias, na vida de prateleira das goiabas 'Pedro Sato'.

Palavras-chave: coberturas comestíveis, HPMC, *Psidium guajava* L., pós-colheita

CHAPTER 2 - Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava 'Pedro Sato'

ABSTRACT - Guavas are tropical climacteric fruits with a short post-harvest shelf life at room temperature. This study aims to extend the shelf life of red guavas 'Pedro Sato' using edible coatings of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and beeswax (BW) at concentrations of 10%, 20%, and 40% in guavas stored for eight days at 21 °C. The HPMC+BW produced a modified atmosphere around the fruit, delaying ripening process. The coatings reduced the loss of mass, maintained the green color, and increased the firmness. The uncoated fruit had six days of shelf life. The treatment with HPMC+20% BW provided the best maintenance of fruit quality. On the eighth day, fruit with this coating showed the same physicochemical characteristics of control fruit in the second day of storage, which represents a gain of six days in the shelf life of guavas 'Pedro Sato'.

Keywords: edible coating, HPMC, *Psidium guajava* L., postharvest

1. Introdução

A goiaba (*Psidium guajava* L.) é uma fruta de origem tropical, muito apreciada pelo seu sabor e pelas características nutricionais. Comparada ao tomate, a goiaba vermelha apresenta seis vezes mais fibra, duas vezes mais licopeno e quatro vezes mais vitamina C (NEPA, 2011). O Brasil é um grande consumidor de goiaba e produz anualmente 424 mil toneladas da fruta, sendo os estados de Pernambuco e São Paulo os maiores produtores e representando 68% da produção nacional (AGRIANUAL, 2018).

Fisiologicamente a goiaba é uma fruta climatérica, com rápido metabolismo fisiológico, que apresenta curto período de comercialização. A goiaba vermelha 'Pedro Sato' apresenta uma vida de prateleira de até seis dias a 25 °C (Jacomino et al., 2003) com rápido amolecimento e perda da coloração verde da casca. Após a colheita, a goiaba pode exibir uma alta taxa respiratória e um rápido amadurecimento. Essas características dificultam ou impossibilitam o envio desses frutos a centros consumidores mais distantes (Xisto et al., 2004). Contudo, segundo Jain et al. (2001) as goiabas não maduras são firmes e podem ser transportadas por longas distâncias sem muito dano. O uso de uma tecnologia pós-colheita que possa retardar o amadurecimento dos frutos, poderia reduzir as perdas pós-colheita e viabilizar o envio desses frutos a regiões distantes dos centros de produção.

Os recobrimentos comestíveis são aplicados diretamente sobre a superfície das frutas, configurando membranas delgadas, imperceptíveis a olho nu. Podem usar aditivos naturais e são importantes na extensão da vida útil dos alimentos, funcionando como barreira aos gases, vapor d'água, solutos e, ainda, garantindo sua segurança microbiológica (Assis e Britto, 2014; Buso et al., 2014). Ao mesmo tempo podem ser uma boa alternativa aos conservantes químicos, são econômicos (Nair et al., 2018) e quando associados a refrigeração garantem um maior tempo de conservação.

Recobrimentos baseados em derivados de celulose, como o HPMC, são especificamente formulados para reduzir o fluxo de O₂ e CO₂, retardando assim o amadurecimento dos frutos (Mcguire e Hallman, 1995). Esses tipos de

recobrimentos se encaixam muito bem com frutos que apresentam elevada taxa respiratória, como a goiaba, controlando a taxa respiratória e retardando a maturação dos frutos. Os revestimentos baseados em lipídios são geralmente usados para formar boas barreiras ao vapor de água. Entre os materiais lipídicos, a cera de abelha é frequentemente usada para melhorar as características de revestimentos que não funcionem como barreira à perda de água (Fagundes et al., 2013).

Nesse aspecto, objetivou-se avaliar o efeito de recobrimentos comestíveis a base de Hidroxipropil metil celulose (HPMC) e de cera de abelha na conservação de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas a temperatura ambiente.

2. Material e métodos

2.1. Material Vegetal

Foram utilizadas goiabas da cv. Pedro Sato (Fig. 1), provenientes de pomares comerciais da região de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil (21°9'35" S e 48°39'44" W, 577 m de altitude). Os frutos foram colhidos no ponto de maturação comercial verde-brilhante, ou seja, com ângulo Hue médio de $113^{\circ} \pm 0,3$ e entre 115 e 140 g. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da UNESP, Campus de Jaboticabal. Após um dia a 21 °C, as goiabas foram selecionadas por cor, tamanho e ausência de danos. As goiabas foram imersas em água fria e clorada (200 mg de cloro L⁻¹ de Dicloro S. Triazinatriona Sódica Dihidratada - Sumaveg®) durante 10 minutos. Após secarem, as goiabas foram imersas individualmente nos recobrimentos por 1 minuto e colocadas para secar a 21 °C.

2.2. Recobrimentos comestíveis

Os recobrimentos foram preparados conforme metodologia descrita por Navarro-Tarazaga et al. (2011), com modificações. A solução estoque de HPMC a 5 g 100 g⁻¹ (m/m) (Methocel®, Dow Chemical, USA), foi preparada pela dissolução inicial do HPMC em 1/3 (v/v) de água desionizada a 90 °C, adicionando o restante da água, seguido de resfriamento em banho de gelo até 20 °C. Após foi adicionado

cera de abelha (CA) (Synth, Brasil), nas concentrações de 10, 20 e 40% e água desionizada. O ácido esteárico (ae) (Synth, Brasil) foi adicionado como emulsificante na razão de CA:ae (5/1) e glicerol (Synth, Brasil) como plastificante na razão de HPMC:glicerol (2/1). A mistura foi aquecida em forno micro-ondas até 90 ± 2 °C e homogeneizada durante um minuto a 968 g e três minutos a 3871 g em homogeneizador de bancada (Marconi, modelo MA 102). A solução foi resfriada em banho de gelo até 20 °C, deixada em repouso durante 45 minutos e armazenada sob refrigeração.

2.3. Tratamentos

As goiabas foram imersas individualmente por um minuto em: [1] Controle (água desionizada); [2] HPMC+10% CA; [3] HPMC+20% CA; [4] HPMC+40% CA. Os recobrimentos comestíveis utilizados tinham concentração de sólidos finais de 8% e a composição em base úmida dos recobrimentos está demonstrado na Tab. 1.

Tabela 1. Recobrimentos comestíveis a base de HPMC e cera de abelha (g 100 g⁻¹, bu)

Formulações	HPMC ^a	CA ^b	Glicerol	ae ^c
HPMC+10% CA	4,69	0,80	2,35	0,16
HPMC+20% CA	4,05	1,60	2,03	0,32
HPMC+40% CA	2,77	3,20	1,39	0,64

^a (HPMC = hidroxipropil metil celulose; ^b CA = cera de abelha; ^c ae = ácido esteárico).

As goiabas após serem submetidas aos tratamentos foram distribuídas em bandejas de poliestireno e armazenadas em câmara fria a temperatura de $21 \pm 0,3$ °C e umidade relativa de $77 \pm 6\%$ (monitorada a cada 30 minutos com registrador de dados HOBO Prov2 U-23-001), durante o período de oito dias.

2.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4 x 5, com três recobrimentos e o controle (HPMC+10% CA, HPMC+20% CA e HPMC+40% CA e o controle) e cinco datas de amostragem (0, 2,

4, 6 e 8 dias), com exceção do controle que apresentou sinais de senescência (0, 2, 4 e 6 dias). A unidade experimental foi composta por três frutos, sendo que cada tratamento tinha quatro repetições, totalizando 204 goiabas.

2.5. Análises físicas, químicas e bioquímicas

2.5.1. Incidência de doenças

Observações da incidência natural de doenças nos frutos foram realizadas a cada 2 dias durante o armazenamento. Os frutos que manifestassem a ocorrência de no mínimo 1 lesão com diâmetro superior 2 mm foram considerados fora do padrão de comercialização e foram descartados.

2.5.2. Perda acumulada de massa

As goiabas foram pesadas em balança semi-analítica de 0,5 a 1000 g $\pm$ 0,01 g (Bel, modelo Mark L 1002, Brasil). A perda de massa foi calculada como sendo a diferença entre a massa inicial e a massa final do produto, dividida pela massa inicial. A perda acumulada de massa foi expressa em porcentagem.

2.5.3. Firmeza

A firmeza dos frutos foi medida utilizando-se penetrômetro digital com a faixa de leitura entre 5 e 200 Newton (N) (Impac, modelo IP-90DI, Brasil), com ponteira de 3 mm. Foram realizadas 4 leituras por fruto na região equatorial.

2.5.4. Cor do epicarpo

A cor do epicarpo dos frutos foi medida utilizando um colorímetro portátil (Minolta Corp, modelo CR-400, Japão) com iluminante padrão D65, um ângulo observador de 0° e calibrado com uma cor padrão (branco), usando o sistema CIELab. Foram avaliadas a luminosidade (L^* ; 0=preto, 100=branco), a cromaticidade (C^*) e o ângulo Hue (h°). Realizaram-se 4 leituras por fruto na região equatorial.

2.5.5. Pigmentos do epicarpo

Os teores de clorofilas foram determinados conforme Lichtenthaler (1987), com modificações. O epicarpo dos frutos foi removido com auxílio de um estilete. Para extração dos pigmentos, as amostras foram maceradas em N₂ líquido,

pesadas, novamente maceradas em almofariz com 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 5 mL de acetona 80%, e colocadas em tubos de Falcon™, para posterior centrifugação a 3.000 g por 10 minutos a 10 °C. A leitura do líquido sobrenadante foi realizada em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) nos comprimentos de onda de 646 e 663 nm. Os resultados foram expressos em mg de clorofila *a*, mg de clorofila *b* e mg de clorofilas e kg^{-1} MF.

2.5.6. Potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis e acidez titulável

O pH, o conteúdo de sólidos solúveis (SS) e o de acidez titulável (AT) foram obtidos mediante a análise do extrato dos frutos. O extrato foi obtido por meio da trituração de goiabas inteiras em um processador de alimentos portátil (Mondial, modelo Super Centrifuga Premium, Brasil).

O pH foi medido conforme metodologia descrita por Zenebon et al. (2008), utilizando-se um potenciômetro digital de bancada (Digimed, modelo DM-22, Brasil).

Os teores de sólidos solúveis (SS) foram determinados com auxílio de refratômetro manual digital (Atago Palette, modelo PR-101, USA). Os resultados foram expressos em porcentagem (Zenebon et al., 2008).

O conteúdo de acidez titulável (AT) foi determinado conforme metodologia descrita por Ryan e Dupont (1973) por meio da titulação das amostras com solução de NaOH 0,1 N até o pH=8,1. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

2.5.7. Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico (AA) foi determinado mediante análise do extrato celular, utilizando o reativo de Tillmans, conforme método descrito por Zenebon et al. (2008). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} MF.

2.5.8. Compostos fenólicos

O conteúdo de compostos fenólicos (CF) foi determinado conforme o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006), com modificações. Para a extração dos CF, 0,2 g das amostras foram maceradas em N_2 líquido, pesadas, diluídas em 10 mL de acetona 80%, colocadas em balões com tampa, deixadas em

repouso sob refrigeração durante 24 horas e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 0,200 mL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio, adicionando-se 1,925 mL de água e 0,125 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após agitação, a mistura permaneceu em repouso por 5 minutos e logo após foi adicionado 0,250 mL de CaCO_3 20%, seguida de agitação e repouso em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico 100 g⁻¹ MF.

2.5.9. Açúcares solúveis

Os açúcares solúveis (AS) foram estimados como descrito por Yemm e Willis, (1954), com modificações. Para a extração dos AS, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas, diluídas em 100 mL de água deionizada e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 0,5 mL do filtrado foi transferida para tubo de ensaio em banho de gelo, adicionando-se 0,5 mL de água deionizada e lentamente 2 mL de antrona. Após a agitação, a mistura foi colocada em água fervente por 3 minutos. O resfriamento se deu em banho de gelo, até atingir temperatura ambiente. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 620 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose 100 g⁻¹ MF.

2.5.10. Açúcares redutores

Os açúcares redutores (AR) foram estimados pelo método calorimétrico do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), descrito por Vasconcelos et al. (2013) com modificações. Foi usado o mesmo filtrado dos AS. Alíquota de 0,5 mL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio e adicionado 0,5 mL da solução de DNS. Após a agitação, a mistura foi colocada em água fervente por 15 minutos. A solução foi resfriada em banho de gelo, adicionando-se 4 mL de água deionizada. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 540 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose 100 g⁻¹ MF.

2.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o software Agroestat, versão 1.1 (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015). Os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em relação ao tempo de armazenamento foram feitas análises de regressão, os modelos polinomiais foram selecionados observando-se a significância do teste F e as equações foram ajustadas de acordo com o maior valor de R^2 .

3. Resultados e discussão

3.1. Incidência de doença

Na Tab. 2, verifica-se que nos frutos não revestidos (controle) houve maior incidência de doenças, sendo que no oitavo dia de armazenamento, 75% dos frutos mostraram sintomas de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz). Desta forma, as análises nesses frutos foram realizadas somente até o 6º dia, quando ainda se encontravam em condições de comercialização (Fig. 1). O tratamento com HPMC+20% CA foi o mais eficiente no retardo da doença, apresentando 3 vezes menos sintomas que os frutos controle.

Tabela 2. Incidência de doenças (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ revestidas com hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA), armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR.

Tratamentos	C. inicial	2	4	6	8
Incidência de doenças (%)					
Controle	-	0,0	25,0	33,3	75,0
HPMC^a+10% CA^b	-	0,0	16,7	16,7	58,3
HPMC+20% CA	-	0,0	8,3	8,3	25,0
HPMC+40% CA	-	0,0	0,0	16,7	41,7

^a (HPMC = hidroxipropil metil celulose; ^b CA = cera de abelha)

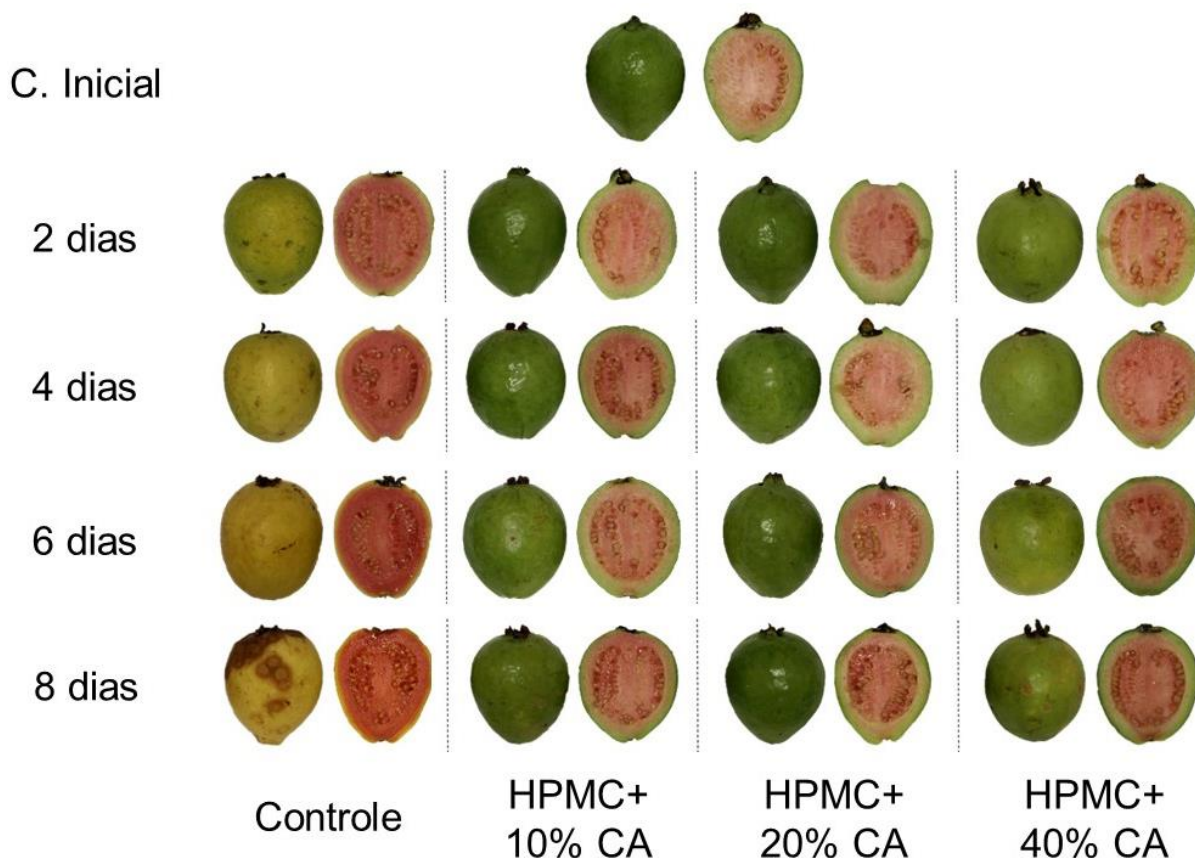


Figura 1. Goiabas 'Pedro Sato' revestidas com hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR.

3.2. Perda acumulada de massa e firmeza

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os frutos controle e aqueles tratados com recobrimento quanto à perda de massa (PM). Na Fig. 2A verifica-se que as três formulações de recobrimento (10%, 20% e 40%) não diferiram entre si e apresentaram as menores médias de PM em relação aos frutos sem recobrimento. No 6º dia de armazenamento os recobrimentos apresentaram uma média de perda acumulada de massa 19,8% menor em relação ao controle, permitindo a manutenção da turgidez das goiabas por mais dois dias, ao final do período de armazenamento.

O aumento progressivo da PM do vegetal ao longo do armazenamento deve ser atribuído em grande parte à perda de água pela transpiração do fruto, devido à diferença de pressão do vapor de água entre a atmosfera e a superfície da goiaba (Murmu e Mishra, 2017). Esse efeito foi minimizado nos frutos recobertos com

HPMC+CA, pois o recobrimento forma uma película na superfície do fruto, que cobre total ou parcialmente os estômatos, lenticelas e microporos, tornando-se uma barreira semipermeável às trocas gasosas e, conseqüentemente, à redução na perda de água para a atmosfera (Oliveira et al., 2018; Assis e Britto, 2014). Conforme Oliveira et al. (2018) a cera de abelha adicionada ao recobrimento atua como um agente hidrofóbico que dificulta a passagem do vapor de água pelo recobrimento, diminuindo a PM.

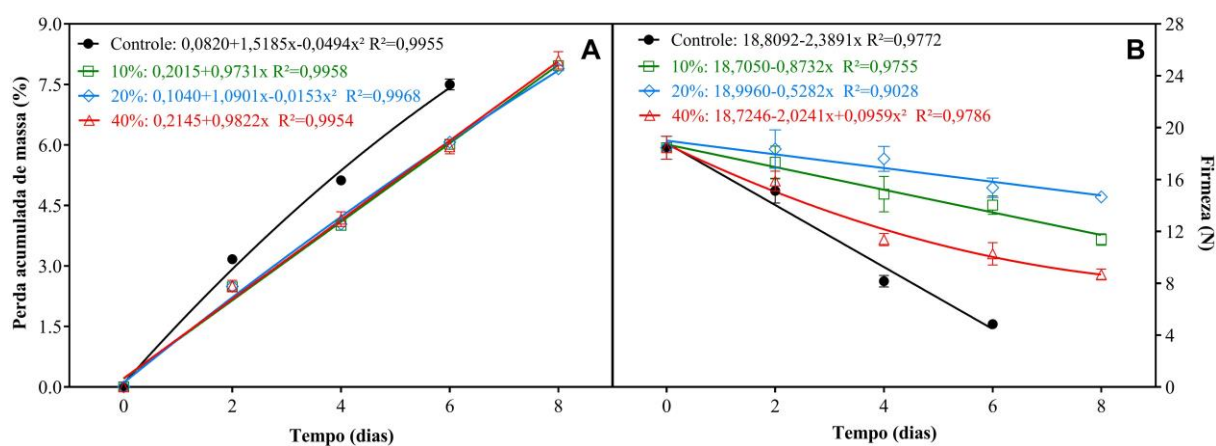


Figura 2. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na perda acumulada de massa (A) e na firmeza (B) de goiabas “Pedro Sato armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Entretanto, conforme verificado na Fig 2A, o aumento da concentração da cera de abelha no recobrimento não reduziu na mesma proporção a PM das goiabas ao longo do armazenamento. Em ameixas ‘Angeleno’ a PM diminuiu à medida em que o conteúdo lipídico do recobrimento aumentou de 20 para 40 g 100 g⁻¹, não ocorrendo diferenças na PM em concentrações de cera de abelha acima de 40 g 100 g⁻¹ (Navarro-Tarazaga et al., 2011). A morfologia do epicarpo dos frutos (presença de pelos, espessura e tipo de cutícula, número de estômatos, lenticelas e até rachaduras nas lenticelas) e as propriedades físicas do revestimento como tensão superficial e viscosidade, influenciam fortemente a transferência de massa do fruto revestido (Hagenmaier e Baker, 1993; Navarro-Tarazaga et al., 2011).

Verifica-se na Fig. 2B que houve um decréscimo dos valores de firmeza nos frutos de goiaba ao longo do período. Este comportamento é característico de goiabas 'Pedro Sato', que perdem rapidamente a firmeza após a colheita, contribuindo para a baixa vida de pós-colheita, restrita a seis dias a 20 °C (Mattiuz e Durigan, 2001a). Entretanto, os frutos que não receberam recobrimento (controle) foram os que mais perderam firmeza até o sexto dia de avaliação, diferindo significativamente ($P < 0,05$) dos demais tratamentos. O recobrimento com HPMC+20% CA foi o tratamento mais eficiente na manutenção da firmeza das goiabas 'Pedro Sato', apresentando valores 57% maiores em relação ao controle ao sexto dia (Fig. 2B). Observa-se que os frutos com recobrimento de 20% CA aos oito dias apresentaram firmeza de 14,7 N, valor equivalente dos frutos controle ao segundo dia de armazenamento (15,1 N), o que corresponde ao ganho de seis dias de comercialização.

A firmeza é um atributo de qualidade muito importante que está relacionado diretamente com a vida pós-colheita e, conseqüentemente, com a aceitação do produto pelo consumidor. Assim, neste trabalho, o recobrimento de HPMC na concentração de 20% de cera de abelha pode ampliar em seis dias a comercialização da goiaba 'Pedro Sato', cuja vida de pós-colheita é muito curta. As concentrações de 10% e de 40% CA apresentaram valores de firmeza intermediários, demonstrando que o aumento da firmeza não está diretamente relacionada ao aumento da concentração de CA utilizada, mas provavelmente às interações físico-químicas entre o recobrimento e a superfície do fruto (Assis e Britto, 2014). McGuire e Hallman (1995) verificaram que a aplicação de 2% de hidroxipropilcelulose retardou o amolecimento de goiabas, prolongando de um para quatro dias sua vida de prateleira, entretanto, o aumento da concentração para 4% não aumentou o tempo de conservação. A retenção da firmeza nos frutos revestidos pode estar ligada à baixa concentração interna de O_2 disponível, o que inibiria os processos degradativos da parede celular e a solubilização das pectinas (Brackmann et al., 2012; Castañeda, 2013). O uso de recobrimentos comestíveis a base de HPMC+CA também foram estudados por Navarro-Tarazaga et al. (2011), cujos melhores resultados para a manutenção da firmeza em ameixas 'Angeleno' também foram com a formulação HPMC+20% CA.

3.3. Cor e pigmentos do epicarpo

Houve diferença entre os frutos controle e aqueles tratados com recobrimento quanto à luminosidade (L^*). Na Fig. 3A verifica-se que a L^* do epicarpo dos frutos revestidos com HPMC e CA foi inferior aos frutos sem recobrimento. O aumento da luminosidade na pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato' também foi evidenciada por (Mattiuz e Durigan, 2001a), e é atribuído à evolução da maturação que, sob condições normais, torna o fruto mais claro. No sexto dia de armazenamento, a luminosidade observada nos frutos controle foi 16% superior aos frutos tratados com recobrimento. Os frutos com recobrimento mantiveram as médias constantes durante todo o período de armazenamento, indicando o retardo do amadurecimento normal dos frutos.

Os valores do ângulo Hue (h°) do epicarpo dos frutos com recobrimento mantiveram-se praticamente constantes ao longo do período (Fig. 3B). Nos frutos controle os valores de Hue reduziram rapidamente até o sexto dia de armazenamento. A redução nos frutos controle, no ângulo de Hue de 114° para 92° (19%) indica que a cor da casca desses frutos mudou de verde para amarela em seis dias, ocasionado pelo amadurecimento dos frutos neste período. Já nos frutos que receberam o recobrimento, os valores de h° mantiveram-se até o final do período, demonstrando que os recobrimentos de HPMC e CA retardaram em ao menos seis dias o amadurecimento dos frutos.

Os valores de cromaticidade (C^*) do epicarpo das goiabas apresentaram comportamento similar à luminosidade no período (Fig. 3A), com as médias crescentes ao longo do período para o controle, variando de 44 a 53, enquanto a cromaticidade para os frutos recobertos com HPMC e 10%, 20% e 40% CA apresentaram valores constantes durante o período avaliado e não apresentaram diferença significativa entre si (Fig. 3C). O aumento da luminosidade e da cromaticidade (Fig. 3A e 3C) e a diminuição do Hue nos frutos controle (Fig. 3B) indicam a degradação de pigmentos clorofílicos de cor verde e a síntese de pigmentos carotenoides (ou revelação dos pigmentos após a degradação da clorofila), responsáveis pelas cor amarela, características do amadurecimento dos frutos climatéricos, como a goiaba (Abreu et al., 2012). Em ambientes com baixa

concentração de O₂, o amadurecimento dos frutos é retardado devido à inibição da expressão de genes relacionados à senescência. Assim, a oxidação é minimizada e, consequentemente, a degradação das clorofilas e carotenoides (Tran et al., 2015).

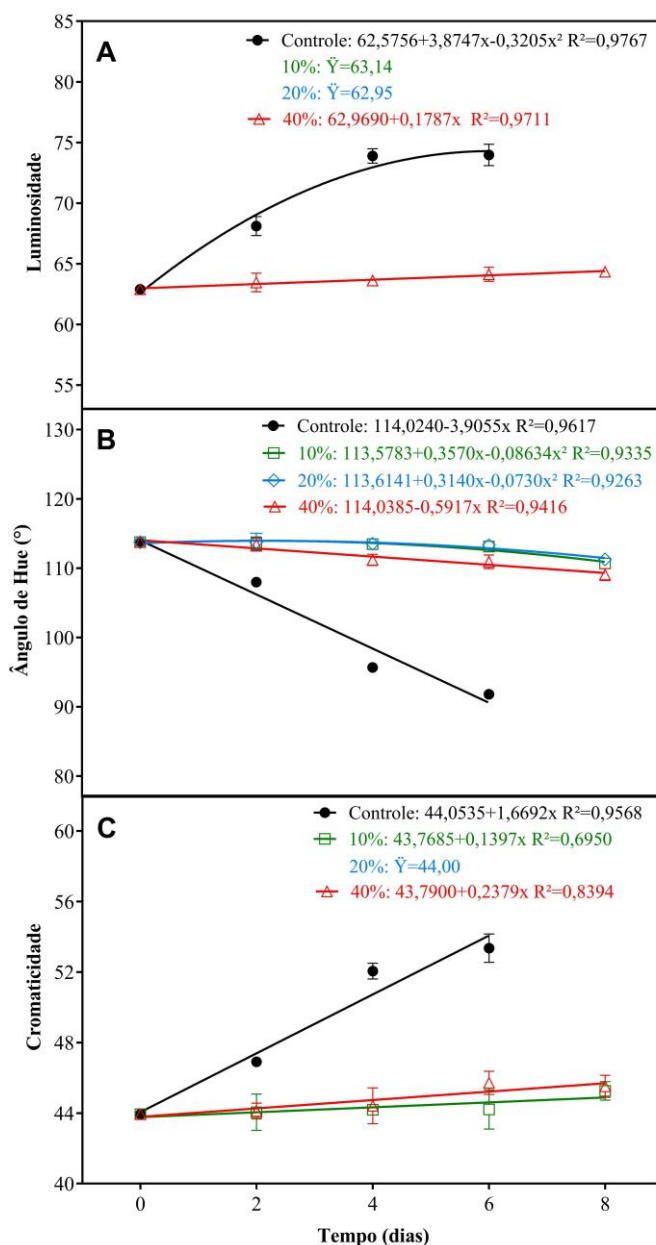


Figura 3. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na evolução da luminosidade (L*) (A), ângulo de Hue (B) e cromaticidade (C) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

O recobrimento com HPMC e cera de abelha a 10 e 20% apresentaram comportamentos parecidos, sendo os tratamentos mais eficientes na conservação das clorofilas *a* (Cla) e *b* (Clb). No sexto dia, o recobrimento com HPMC+10% CA demonstrou-se mais eficaz na manutenção desses pigmentos (Fig. 4A e 4B).

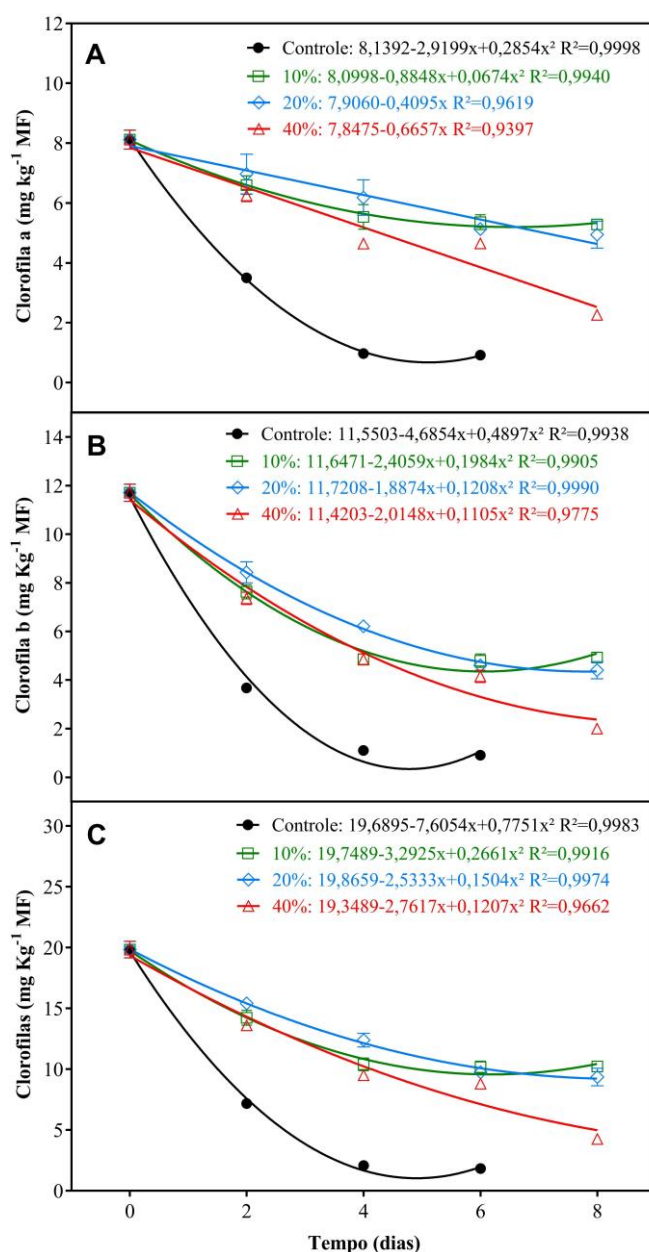


Figura 4. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofilas (C) de goiabas 'Pedro sato' armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Dentre as clorofilas estudadas, o conteúdo de *Clb* nos frutos foi cerca de 13% maior que a *Cla*. Esses resultados corroboram com os encontrados na literatura, pois Jain et al. (2001) também encontraram maior concentração de *Clb* do que de *Cla* em goiabas em quatro estádios de maturação diferentes.

No oitavo dia de armazenamento as goiabas revestidas com HPMC e 10%, 20% e 40% de CA apresentaram 1022, 935 e 426 mg de clorofilas kg⁻¹ MF, respectivamente (Fig. 4C). Essas médias foram ainda superiores aos dos frutos controle no sexto dia armazenamento. Dentre os tratamentos, os frutos controle foram os que mais perderam clorofilas até o sexto dia de avaliação, tendo apenas, neste período, 9% dos valores de clorofilas encontrados na caracterização inicial. Verificou-se que durante o armazenamento a 21 °C houve um decréscimo nos teores de clorofilas das goiabas (Fig. 4C). Essa característica indica a maturação dos frutos, que provoca o desarranjo do aparato fotossintético e o início do catabolismo das clorofilas (Vergara-Domínguez et al., 2016). Nota-se que os teores de clorofilas (Fig. 4) decresceram de acordo com o aumento na concentração de cera na formulação, indicando que a adição de CA em concentrações superiores a 20% pode aumentar a permeabilidade do revestimento aos gases de forma prejudicial à conservação de clorofilas. Outra possibilidade é que a utilização de concentrações acima de 20% de CA poderia prejudicar a estabilidade da emulsão e provocar a formação de fases, causando uma redução na fixação do revestimento na superfície do fruto.

As clorofilas estão localizadas nos cloroplastos, onde geralmente estão protegidas e associadas a carotenoides, lipídios e lipoproteínas. Os recobrimentos com 10% e 20% ao limitar a circulação de O₂ e CO₂, promoveram o aumento nos níveis de CO₂, diminuindo a atividade de enzimas do processo respiratório, a transpiração dos frutos e a ação do etileno (Cerqueira et al., 2011). Esse efeito atrasa o processo de conversão da *Clb* em *Cla*, que ocorre por meio da ação de duas enzimas (clorofila b redutase e 7-hidroximetil clorofila redutase), retarda a ação da enzima clorofilase, que é responsável pela hidrólise do grupo fitol e impede que a clorofila se torne mais solúvel em água e consequentemente, mais susceptível a outras reações degradativas (Bobbio e Bobbio, 1992; Tanaka e Tanaka, 2006). Essas alterações metabólicas também causam atraso no processo de maturação

dos frutos e mantém por mais tempo a estabilidade da parede celular, o que significa maior proteção aos cloroplastos e consequentemente as clorofilas. A redução no O₂ interno dos frutos ainda pode inibir a atividade da enzima peroxidase, que também atua na degradação das clorofilas (Jain et al., 2001).

3.4. Características físico-químicas

Foram observadas pequenas variações no pH das goiabas 'Pedro Sato' durante o armazenamento (Fig. 5A). Os frutos controle apresentaram os menores valores de pH nos dias 2 e 4. Isso pode estar relacionado com o aumento de ácidos orgânicos, ocorridos durante o amadurecimento, oriundos da ação de enzimas pectinolíticas (poligalacturonase) que tem como produto final ácidos galacturônicos. A pequena variação do pH das goiabas pode ser resultado do efeito tamponante da presença simultânea de ácidos orgânicos e seus sais, pois Fakhouri e Grosso (2003) também verificaram pouca variação no pH de goiabas com recobrimentos a base gelatina.

As goiabas do controle apresentaram os maiores teores de sólidos solúveis (SS), apresentando aumento brusco nos primeiros dois dias e mantendo-se em 10% até o sexto dia de armazenamento (Fig. 5B). Além disso, o tratamento controle diferiu significativamente ($P < 0,05$) dos frutos com recobrimento. O aumento nos teores de SS dos frutos do controle ocorreu devido ao rápido amadurecimento, comum em goiabas nessas condições específicas, devido a hidrólise de polissacarídeos em açúcares mais simples e aumento da concentração dos sólidos, com o aumento da perda de massa dos frutos (Fig. 2A). A redução dos SS após o quarto dia nos frutos do controle, pode ter ocorrido tanto pelo uso dos ácidos orgânicos (Fig. 5C) e dos açúcares solúveis (Fig. 7A) como substrato no processo respiratório, como pela atividade de microrganismos (Fig. 1). Esse comportamento também foi observado por (Mattiuz e Durigan, 2001b) em goiabas 'Pedro Sato' armazenadas por seis dias a 23 °C e 63% UR.

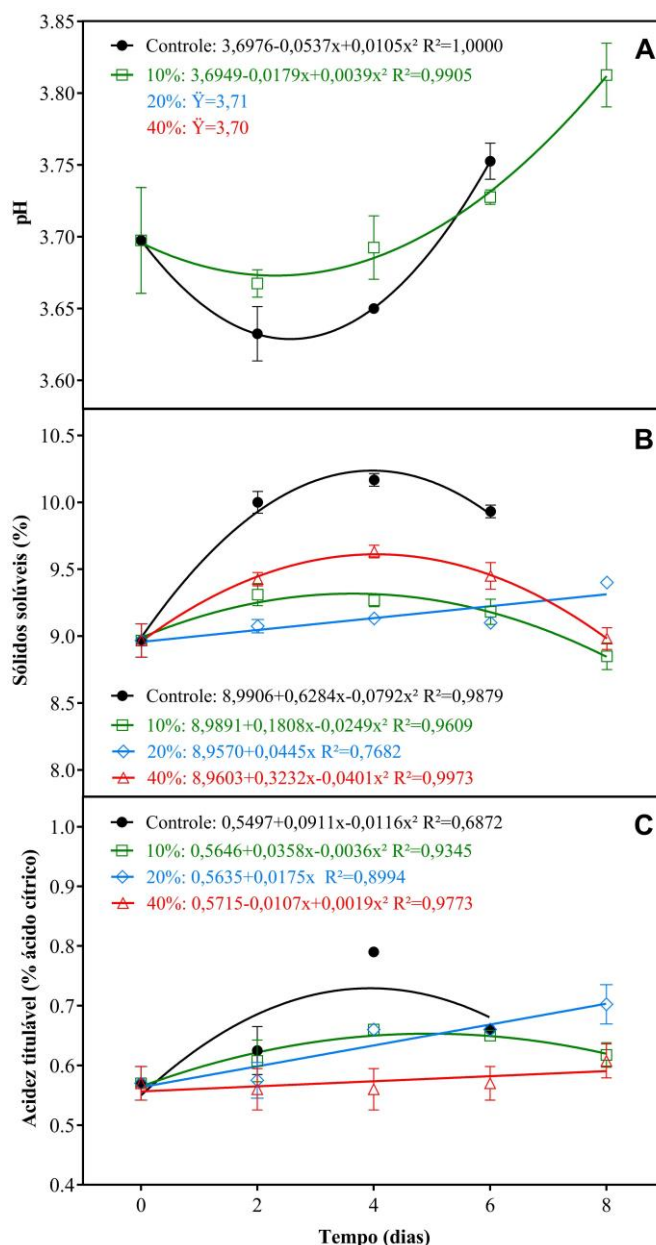


Figura 5. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) no pH (A), sólidos solúveis (B) e acidez titulável (C) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Frutos com recobrimentos nas concentrações de HPMC e 10% e 40% de CA apresentaram comportamento similar ao controle, com pequeno aumento dos SS até o quarto dia com consequente redução até o final do período. Essa redução pode ter duas explicações possíveis: o recobrimento com HPMC+10% CA pode ter bloqueado o fluxo de O_2 de tal maneira, que induziu os frutos a anaerobiose e na segunda o tratamento com HPMC+40% CA não inibiu com eficiência o fluxo do O_2 ,

permitindo o amadurecimento mais rápido dos frutos. Já com o recobrimento HPMC+20% CA o teor de SS dos frutos aumentou de forma linear apenas 0,4% em oito dias de armazenamento, demonstrando um controle da maturação dos frutos sem comprometer a qualidade, proporcionando maior conservação pós-colheita aos frutos submetidos a este tratamento.

Os frutos controle apresentaram valores de acidez titulável (AT) superiores aos observados nas goiabas revestidas com HPMC+CA. Até o quarto dia de armazenamento houve incremento nos valores de AT das goiabas do controle (Fig. 5C). Comportamento semelhante foi observado por Azzolini et al. (2004) em goiabas 'Pedro Sato' armazenadas sob refrigeração. Nos frutos revestidos com HPMC+10% CA a acidez aumentou até o quarto dia (0,66% de ácido cítrico), comportamento similar aos frutos controle. A AT aumentou 18,6% no tratamento com HPMC+20% CA em relação a caracterização inicial e manteve-se constante no tratamento com HPMC+40% CA (Fig. 5C).

O aumento da AT nos frutos do controle pode ter sido causado pela liberação de ácidos orgânicos a partir do ácido poligalacturônico, por meio da ação da enzima poligalacturonase que degrada a parede celular durante o amadurecimento dos frutos (Pereira et al., 2005). As pequenas variações nos teores de AT observadas nos frutos revestidos com HPMC+CA podem ter ocorrido devido a possível redução na taxa respiratória dos frutos.

3.5. Teores de compostos bioativos

Nas goiabas do controle o conteúdo de ácido ascórbico (AA) aumentou até o quarto dia, com pequena redução no sexto dia de avaliação (Fig. 6A). Comportamento similar foi verificado em frutos recobertos com HPMC+10% CA com aumento do teor de AA até o quarto dia com posterior redução. Nas goiabas recobertas com HPMC e 20% ou 40% CA o conteúdo de AA diminuiu ao longo do armazenamento. O aumento no teor de AA nos frutos do controle pode ter ocorrido devido à necessidade de o fruto desintoxicar os tecidos de espécies reativas de oxigênio produzidas durante o amadurecimento (Gomez e Lajolo, 2008; Jiang et al., 2018). Para isso, verifica-se que os frutos controle contavam com maior

disponibilidade de açúcares (Fig. 5B), facilitando a síntese de AA via glicose que por sua vez aumentaram o teor deste composto (Conklin, 2001).

Na goiaba, a maturação dos frutos afeta significativamente o conteúdo de AA, podendo aumentar, diminuir ou permanecer inalterado (Gomez e Lajolo, 2008). Entretanto, a redução de AA nas goiabas recobertas com as maiores concentrações (20% e 40%) foi gradativa, não ocorrendo picos de síntese de AA, o que daria indícios de estresse aos frutos, com amadurecimento irregular ou acelerado. Nestas concentrações de CA a redução do AA ao longo do armazenamento se deu de forma mais lenta e natural. Esse comportamento observado nos valores de AA também foi relatado por Azzolini et al. (2004) em goiabas 'Pedro Sato' armazenadas sob refrigeração.

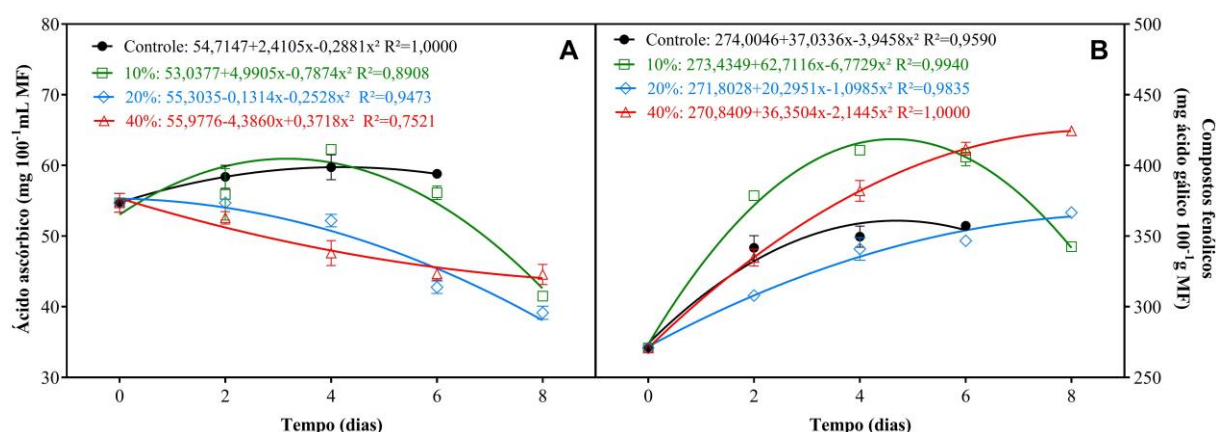


Figura 6. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de ácido ascórbico (A) e de compostos fenólicos (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

O conteúdo de compostos fenólicos (CF) aumentou ao longo do período em todos os tratamentos (Fig. 6B). Nas goiabas revestidas com HPMC+10% CA houve incremento de 34% nos quatro dias de armazenamento, com redução de 17% nos dias posteriores. Essa variação não foi observada no controle e nos outros dois tratamentos (20% e 40% CA). Os tratamentos a 20% e 40% CA apresentaram aumento progressivo ao longo do armazenamento, entretanto, o tratamento a 20% CA apresentou as menores médias de CF.

Os tratamentos com HPMC e 20% e 40% CA parecem ter criado barreiras mais maleáveis ao fluxo de O_2 e CO_2 , retardando de forma mais equilibrada a maturação dos frutos, conforme o observado para os teores de AA (Fig. 6A). A indução da síntese de CF promovida nas goiabas revestidas com HPMC+10% CA, pode ter sido uma resposta a infecção causada por patógenos e ao estresse causado nos frutos pela escassez de O_2 , e a redução ocorrida após o quarto dia nos valores de CF, pode ser resultado da diminuição nos teores de glicose (Fig. 6A), que inibiu a via metabólica responsável pela síntese de CF (Fig. 6B). Nos frutos controle a perda de umidade dos frutos e o ataque de patógenos podem ter promovido o aumento nos valores de CF, como um mecanismo de defesa do fruto.

3.6. Teores de açúcares

O tratamento das goiabas com HPMC+40% CA apresentou os maiores conteúdos de açúcares (açúcares solúveis e redutores) ao longo do armazenamento, com tendência linear e crescente dos valores (Fig. 7A e 7B). Dentre os recobrimentos aplicados, este foi o que menos retardou o amadurecimento (Fig. 1). O recobrimento com HPMC+10% CA provocou redução nos valores de açúcares, que diminuíram aproximadamente 14% e 30% em relação aos AS e AR, respectivamente, em relação ao tempo inicial.

O aumento dos açúcares se dá progressivamente durante o processo de amadurecimento devido à degradação do amido e outros polissacarídeos. Conforme Jain et al. (2001), os açúcares aumentam aproximadamente duas vezes em goiabas do momento da colheita até o completo amadurecimento. Os recobrimentos atuam modificando a atmosfera interna dos frutos de modo que haja aumento dos teores de CO_2 e, este por sua vez, inibe a ação da enzima fosfofrutoquinase na fase glicolítica, reduzindo a degradação do amido, a taxa respiratória e, conseqüentemente, amadurecimento dos frutos. Contudo, o recobrimento com HPMC+10% CA parece ter induzido os frutos a fermentação. A ausência de O_2 induziu o metabolismo dos frutos a respiração anaeróbica e os AR (Fig. 7B) foram usados no processo como substrato para produzir energia. Esse processo geralmente se traduz em um aumento no conteúdo de voláteis associados a condições anaeróbicas, como etanol e acetaldeído. Em ameixas 'Angeleno' revestidas com HPMC e CA, os

recobrimentos com apenas HPMC (66,7 g 100 g⁻¹, bs) apresentaram os maiores níveis de etanol aos com CA na composição, indicando que o recobrimento com HPMC forneceu uma maior barreira ao O₂ do que os recobrimentos com HPMC e CA (Navarro-Tarazaga et al., 2011).

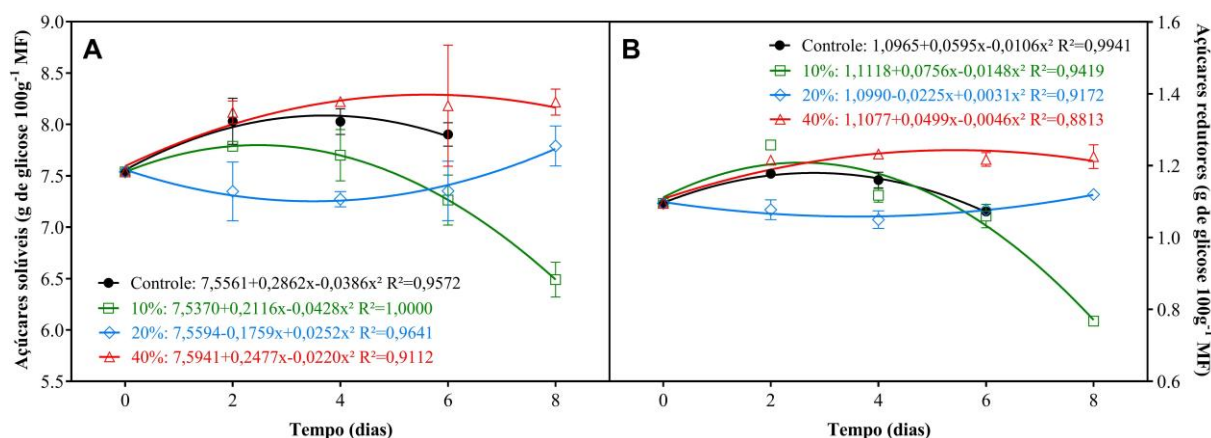


Figura 7. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de açúcares solúveis (A) e açúcares redutores (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 21 °C e 77% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Os recobrimentos com HPMC e 10% CA e 20% CA foram os tratamentos com maior concentração de HPMC na sua formulação (Tab. 1), tornando-os, em teoria, as mais eficientes na redução da taxa respiratória dos frutos. Essa característica explica o atraso no amadurecimento observado nas goiabas revestidas com essas formulações (Fig. 1) e sugere que a superfície da goiaba 'Pedro Sato' teve boa afinidade com o HPMC, tendo assim comportamento hidrofílico. Esses resultados contrariam Assis e Britto (2014), que aconselharam o uso de materiais mais hidrofóbicos para o recobrimento de goiabas.

4. Conclusões

Os recobrimentos a base de HPMC e cera de abelha tiveram efeito positivo na conservação e inibiram a maturação de goiabas 'Pedro Sato', estendendo sua vida de prateleira. As goiabas revestidas mantiveram-se mais firmes, mais verdes e

mais túrgida durante os oito dias de armazenamento a temperatura ambiente. O tratamento com HPMC+20% CA foi o que apresentou os melhores resultados na manutenção da qualidade dos frutos, aumentando em ao menos seis dias, o tempo de conservação das goiabas ‘Pedro Sato’.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à Val Frutas por ter cedido os frutos e à Colorcon do Brasil, pelo HPMC utilizado neste experimento.

6. Referências

- Abreu JR, Donizete C, Maria C, Abreu P, Carla A, Pinheiro M, Corrêa AD (2012) Ripening pattern of guava cv. Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 32: 344–350.
- AGRIANUAL (2018) Goiaba. In: AGRIANUAL (23 ed.) **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p. 285–287.
- Assis OBG, Britto D (2014) Revisão : coberturas comestíveis protetoras em frutas : fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal Food Technology** 17: 87–97.
- Azzolini M, Jacomino AP, Bron IU (2004) Índices Para Avaliar Qualidade Pós-Colheita De Goiabas Em Diferentes Estádios De Maturação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** 39: 139–145.
- Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress LTDA. Disponível em: <<https://www.agroestat.com.br>>
- Bobbio PA, Bobbio FO (2 ed.) (1992) Química do processamento de alimentos. São Paulo: Varela LTDA, 143p.

Brackmann A, Anese RO, Both V, Thewes FR, Fronza D (2012) Atmosfera controlada para o armazenamento de goiaba cultivar “Paluma”. **Revista Ceres** 59: 151–156.

Buso EKRPM, Clemente E, Estrada KRFS, Zárate NAH, Oliveira JSB (2014) Comportamento pós-colheita de mandioquinha-salsa revestida com quitosana. **Revista Ciencia Agronomica** 45: 850–855.

Castañeda LMF (2013) **Avaliação da quitosana e da fécula de mandioca, aplicada em pós-colheita no recobrimento de maçãs**. 130 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Cerqueira TS, Jacomino AP, Sasaki FF, Alleoni ACC (2011) Recobrimento de goiabas com filmes proteicos e de quitosana. **Bragantia** 70: 216–221.

Conklin PL (2001) Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. **Plant, Cell and Environment** 24: 383–394.

Fagundes C, Pérez-Gago MB, Monteiro AR, Palou L (2013) Antifungal activity of food additives in vitro and as ingredients of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings against *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* on cherry tomato fruit. **International Journal of Food Microbiology** 166: 391–398.

Fakhouri FM, Grosso C (2003) Efeito de coberturas comestíveis na vida útil de goiabas *in natura* (*Psidium guajava* L.) mantidas sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology** 6: 203–211.

Gomez MLP, Lajolo FM (2008) Ascorbic acid metabolism in fruits: activity of enzymes involved in synthesis and degradation during ripening in mango and guava. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 88: 756–762.

Hagenmaier RD, Baker RA (1993) Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 41: 283–287.

Jacomino AP, Ojeda RM, Kluge RA, Scarpate JAF (2003) Conservacao de goiabas tratadas com emulsoes de cera de carnauba. **Revista Brasileira de Fruticultura** 25:401–405.

Jain N, Dhawan K, Malhotra SP, Siddiqui S, Singh R (2001) Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. **Acta Physiologiae Plantarum** 23: 357–362.

Jiang ZY, Zhong Y, Zheng J, Ali M, Liu GD, Zheng XL (2018) L-ascorbic acid metabolism in an ascorbate-rich kiwifruit (*Actinidia. Eriantha Benth.*) cv. 'White' during postharvest. **Plant Physiology and Biochemistry** 124: 20–28.

Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology** 148: 350–382.

Mattiuz B, Durigan JF (2001) Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. **Revista Brasileira de Fruticultura** 23: 277–281. a.

Mattiuz B, Durigan JF (2001) Efeito de injúrias mecânicas no processo respiratório e nos parâmetros químicos de goiabas “Paluma” e “Pedro Sato”. **Revista Brasileira de Fruticultura** 23: 282–287. b.

Mcguire RG, Hallman GJ (1995) Coating guavas with cellulose or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening. **HortScience** 30: 294–295.

Murmu SB, Mishra HN (2017) Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (Cv. Baruipur). **LWT - Food Science and Technology** 78: 273–280.

Nair MS, Saxena A, Kaur C (2018) Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry** 240: 245–252.

Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago MB (2011) Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology** 44: 2328–2334.

NEPA 4 ed.: Tabela brasileira de composição de alimentos. Campinas: NEPA - Unicamp, 2011. p. 161.

Oliveira VRL, Santos FKG, Leite RHL, Aroucha EMM, Silva KNO (2018) Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry** 259: 55–64.

Pereira T, Carlos LA, Oliveira JG, Monteiro AR (2005) Características físicas e químicas de goiaba cv. Cortibel (*Psidium guajava*) estocadas sob refrigeração em filmes X-Tend. **Alimentos e Nutrição** 16: 11–16.

Ryan JJ, Dupont JÁ (1973) Identification and Analysis of the Major Acids from Fruit Juices and Wines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 21: 45–49.

Tanaka A, Tanaka R (2006) Chlorophyll metabolism. **Current Opinion in Plant Biology** 9: 248–255.

Tran DT, Verlinden BE, Hertog M, Nicolai BM (2015) Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of “Greenstar” apples using chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae** 184:18–22.

Vasconcelos NM, Pinto GAS, Aragão FAZ (2013) Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

Vergara-Domínguez H, Ríos JJ, Gandul-Rojas B, Roca M (2016) Chlorophyll catabolism in olive fruits (var. Arbequina and Hojiblanca) during maturation. **Food Chemistry** 212: 604–611.

Waterhouse A (2006) **Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine**. Disponível em: <<http://waterhouse.ucdavis.edu/faqs/foolin-ciocalteau-micro-method-for-total-phenol-in-wine>>. Acesso em: 11 ago. 2014.

Xisto ALRP, Abreu CMP, Corrêa AD, Santos CD (2004) Texture of “ Pedro Sato ” Guavas submitted to the application of calcium chloride. **Ciência e Agrotecnologia** 28: 113–118.

Yemm EW, Willis AJ (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal** 57: 508–514.

Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P (4 ed.) (2008) Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p.

CAPÍTULO 3 - Hidroxipropil metil celulose e cera de abelha estendem o período de armazenamento de goiaba vermelha 'Pedro Sato'

RESUMO - A goiaba é uma fruta mundialmente conhecida e de natureza climatérica. É caracterizada como uma fruta altamente perecível e apresenta um curto período de conservação pós-colheita quando armazenada a temperatura ambiente. O objetivo desse trabalho é estudar os efeitos dos recobrimentos na fisiologia e na extensão da vida útil de goiabas da 'Pedro Sato'. Para isso, avaliou-se o efeito de recobrimentos comestíveis a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e de cera de abelha (CA) nas concentrações de 10%, 20% e 40%. Goiabas revestidas e não revestidas foram armazenadas por oito dias a 22 °C e avaliadas a cada dois dias. O HPMC+CA limitaram o fluxo de O₂ e CO₂ e criaram uma atmosfera modificada ao redor dos frutos. Essa modificação reduziu a taxa respiratória, inibiu a síntese de etileno e retardou o processo de amadurecimento dos frutos. Os principais benefícios foram a redução na perda de massa, manutenção da coloração verde e retenção da firmeza. O tratamento com HPMC+20% CA foi o que apresentou os melhores resultados na manutenção da qualidade dos frutos, reduzindo a atividade da enzima Poligalacturonase e atrasando o amadurecimento das goiabas 'Pedro Sato' sem promover a atividade da enzima Álcool desidrogenase e consequentemente a fermentação dos frutos. Os frutos tratados com HPMC+20% CA apresentaram um ganho na vida de prateleira de ao menos seis dias.

Palavras-chave: Álcool desidrogenase, coberturas comestíveis, enzimas de parede, HPMC, *Psidium guajava* L.

CHAPTER 3 - Hydroxypropyl methylcellulose and beeswax extends the storage period of red guava 'Pedro Sato'

ABSTRACT - Guava is a world famous fruit of a climacteric nature. It is characterized as a highly perishable fruit and has a short post-harvest shelf life when stored at room temperature. The objective of this work is to study the effects of the coatings on the physiology and the extension of guava life of 'Pedro Sato'. For this, the effect of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and beeswax (CA) at concentrations of 10%, 20% and 40% was evaluated. Coated and uncoated guavas were stored for eight days at 22 °C and evaluated every two days. The HPMC+CA limited the flow of O₂ and CO₂ and created a modified atmosphere around the fruits. This modification reduced the respiratory rate, inhibited ethylene synthesis and delayed the fruit ripening process. The main benefits were reduction in mass loss, maintenance of green color and retention of firmness. The treatment with HPMC+20% CA presented the best results in maintaining fruit quality, reducing the activity of the Polygalacturonase enzyme and delaying the maturation of 'Pedro Sato' guavas without promoting the activity of the Alcohol dehydrogenase enzyme and consequently the fermentation of fruits. Fruits treated with HPMC+20% CA showed a gain in shelf life of at least six days.

Keywords: Alcohol dehydrogenase, edible coating, wall enzymes, HPMC, *Psidium guajava* L.

1. Introdução

A goiaba (*Psidium guajava* L.) é uma fruta popular em países de clima subtropical e tropical, é mundialmente conhecida e tem natureza climatérica. Apresenta excelentes características organolépticas, elevado conteúdo de açúcares e têm alto rendimento de polpa (Campos et al., 2011). Nutricionalmente a goiaba é rica em minerais como o cálcio, ferro e o fósforo, tem alto teor de vitaminas A e B1, o teor de vitamina C da goiaba é 2 a 5 vezes maior que o dos cítricos e a goiaba vermelha é uma fonte considerável de licopeno (Gill, 2015). O Brasil é o maior produtor de goiabas vermelhas e ocupa a oitava posição na produção mundial de goiabas (Gill, 2015; Braga et al., 2018). A goiaba vermelha 'Pedro Sato' é uma das mais cultivadas e sua produção é voltada para o mercado interno e para o consumo *in natura* (Haida et al., 2015).

As frutas climatéricas apresentam altas taxas de respiração e uma vida pós-colheita muito curta. A goiaba é caracterizada como uma fruta altamente perecível, que sofre rápida perda de firmeza, de coloração verde e de brilho, é susceptível à contaminação por fungos e completa seu processo de maturação em poucos dias após a colheita, quando mantida à temperatura ambiente (Azzolini et al., 2005; Hong et al., 2012; Gonçalves et al., 2016). Segundo Abreu et al. (2012a), a firmeza é o atributo mais importante, pois contribui para a conservação da fruta após a colheita, oferecendo proteção durante o transporte e resistência ao ataque de microrganismos.

Diversos pesquisadores tem trabalhado no sentido de retardar o processo de amolecimento da goiaba, fazendo uso de diferentes tecnologias (Vishwasrao e Ananthanarayan, 2016). Entre as principais tecnologias estudadas pode-se destacar o uso de recobrimentos comestíveis em frutas e vegetais frescos por ser eficiente ecologicamente, baixo custo e de fácil aplicação (Zhao, 2018). Os recobrimentos ou revestimentos comestíveis são aplicados diretamente na superfície do produto e oferecem uma barreira seletiva à água, oxigênio, sabor, aroma, entre o vegetal e o ambiente, sem causar bloqueio das reações metabólicas e atrasando o amadurecimento (Cerqueira et al., 2011; Navarro-Tarazaga et al., 2011).

Recobrimentos baseados em hidroxipropil metil celulose (HPMC) são eficientes barreiras ao fluxo de O₂, CO₂ e lipídios (Villalobos et al., 2005). Quando aplicados na superfície de frutos, esses recobrimentos modificam a atmosfera e reduzem concentração de O₂ e aumenta a concentração de CO₂, reduzindo a respiração, com consequente atraso na maturação dos frutos (Beaudry, 2000). Contudo, são barreiras pouco eficientes ao vapor de água, devido à sua natureza hidrofílica. Esse problema pode ser resolvido pela adição de materiais hidrofóbicos, como lipídios, à solução formadora de filme (Villalobos et al., 2005; Sothornvit, 2009). A cera de abelha é frequentemente usada para melhorar as características de revestimentos que não funcionem como barreira à perda de água (Fagundes et al., 2013).

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito de recobrimentos comestíveis a base de Hidroxipropil metil celulose (HPMC) e de cera de abelha na conservação e na fisiologia pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas em temperatura ambiente.

2. Material e métodos

2.1. Material Vegetal

Foram utilizadas goiabas da 'Pedro Sato' (Fig. 1), provenientes de pomares comerciais da região de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil (21°9'35" S e 48°39'44" W, 577 m de altitude). Os frutos foram colhidos no ponto de maturação comercial verde-brilhante, ou seja, valores médios de ângulo Hue de 117°±0,7 e apresentando 145-170 g. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da UNESP, Campus de Jaboticabal. Após um dia a 22 °C, as goiabas foram selecionadas por cor, tamanho e ausência de danos. As goiabas foram tratadas com Magnate 500 EC (0,5 g L⁻¹ de imazalil- ADAMA Makhteshim Ltd.) durante dois minutos. Após secarem, as goiabas foram imersas individualmente nos recobrimentos por um minuto e colocadas para secar a 21 °C.

2.2. Recobrimentos comestíveis

Os recobrimentos foram preparados conforme metodologia descrita por Navarro-Tarazaga et al. (2011), com modificações. O HPMC a 5 g 100 g⁻¹ (m/m) (Methocel®, Dow Chemical, USA), foi preparado pela dissolução inicial em água desionizada a 90°C, adicionando o restante da água, seguido de resfriamento em banho de gelo até 20°C. Após foi adicionada cera de abelha (CA) (Synth, Brasil), nas concentrações de 10, 20 e 40%. O ácido esteárico (ae) (Synth, Brasil) foi adicionado como emulsificante na razão de CA:ae (5/1) e glicerol (Synth, Brasil) como plastificante na razão de HPMC:glicerol (2/1). A mistura foi aquecida em forno micro-ondas até 90 ± 2°C e homogeneizada durante um minuto a 12.000 rpm e três minutos a 24.000 rpm em homogeneizador de bancada (Marconi, modelo MA 102). A solução foi resfriada em banho de gelo até 20°C, deixada em repouso durante 45 minutos e armazenada sob refrigeração.

2.3. Tratamentos

As goiabas foram imersas individualmente por um minuto em: [1] Controle (água desionizada); [2] HPMC+10% CA; [3] HPMC+20% CA; [4] HPMC+40% CA. Os recobrimentos comestíveis utilizados apresentaram a concentração final de sólidos de 6%. A composição em base úmida dos recobrimentos está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1. Recobrimentos comestíveis a base de HPMC e cera de abelha (g 100g⁻¹, bu)

Formulações	HPMC^a	CA^b	Glicerol	ae^c
HPMC + 10% CA	3,52	0,60	1,76	0,12
HPMC + 20% CA	3,04	1,20	1,52	0,24
HPMC + 40% CA	2,08	2,40	1,04	0,48

^a (HPMC = hidroxipropil metil celulose; ^b CA = cera de abelha; ^c ae = ácido esteárico).

As goiabas após serem submetidas aos tratamentos foram distribuídas em bandejas de poliestireno e armazenadas em câmara fria a temperatura de 22±0,3°C e umidade relativa de 65±8% (monitorada a cada 30 minutos com registrador de dados HOBO Prov2 U-23-001), durante o período de oito dias.

2.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4 x 5, com três recobrimentos e o controle (HPMC+10% CA, HPMC+20% CA e HPMC+40% CA e o controle) e cinco datas de amostragem (0, 2, 4, 6 e 8 dias). A unidade experimental foi composta por três frutos, cada tratamento tinha quatro repetições (bandejas), totalizando 204 goiabas.

2.5. Análises físicas, químicas e bioquímicas

2.5.1. Perda acumulada de massa

As goiabas foram pesadas em balança semi-analítica de 0,5 a 1000 g $\pm$ 0,01 g (Bel, modelo Mark L 1002, Brasil). A perda acumulada de massa foi calculada como sendo a diferença entre a massa inicial e a massa final do produto, dividida pela massa inicial. A perda acumulada de massa foi expressa em porcentagem.

2.5.2. Firmeza

A firmeza dos frutos foi medida utilizando-se penetrômetro digital com a faixa de leitura entre 5 e 200 Newton (N) (Impac, modelo IP-90DI, Brasil), com ponteira de 3 mm. Foram realizadas 4 leituras por fruto na região equatorial.

2.5.3. Atividade respiratória e produção de etileno

A cada dois dias, três goiabas foram colocadas em frascos herméticos com capacidade de 5 L e tampadas. Após 60 minutos eram coletadas amostras da atmosfera interna dos frascos (*head space*), as quais foram injetadas em cromatógrafo a gás (Trace GC Ultra, Thermo Scientific) equipado com um detector de ionização de chama (FID) e uma coluna capilar Porapak N de 2 m de comprimento. A temperatura da coluna foi ajustada para 80 °C e o hidrogênio foi usado como gás de arraste (35 mL min⁻¹). As temperaturas de trabalho foram 110 °C, 250 °C e 200 °C para a coluna, detector e injetor, respectivamente. O GC foi calibrado usando um padrão comercial de etileno de 1 μ mol mol⁻¹ (White Martins, Brasil). Os resultados foram expressos em mL de CO₂ kg⁻¹h⁻¹ MF (massa fresca) e mL de etileno kg⁻¹h⁻¹ MF.

2.5.4. Cor do epicarpo

A cor do epicarpo dos frutos foi medida utilizando um colorímetro portátil (Minolta Corp, modelo CR-400, Japão) com iluminante padrão D65, um ângulo observador de 0° e calibrado com uma cor padrão (branco), usando o sistema CIELab. Foram avaliadas a luminosidade (L^* ; 0 = preto, 100 = branco), a cromaticidade (C^*) e o ângulo Hue (h°). Foram realizadas 4 leituras por fruto na região equatorial.

2.5.5. Pigmentos do epicarpo

Os teores de clorofilas foram determinados conforme Lichtenthaler (1987), com modificações. O epicarpo dos frutos foi removido com auxílio de um estilete. Para extração dos pigmentos, as amostras foram maceradas em N_2 líquido, pesadas, novamente maceradas em almofariz com 0,2 g de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e 5 mL de acetona 80%, e colocadas em tubos de Falcon™, para posterior centrifugação a 3.000 G por 10 minutos a 10 °C. A leitura do líquido sobrenadante foi realizada em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) nos comprimentos de onda de 646 e 663 nm. Os resultados foram expressos em mg de clorofila *a*, mg de clorofila *b* e mg de clorofilas kg^{-1} MF.

2.5.6. Sólidos solúveis e acidez titulável

O conteúdo de sólidos solúveis (SS) e o de acidez titulável (AT) foram obtidos mediante a análise do extrato celular dos frutos. O extrato celular foi obtido por meio da trituração de goiabas inteiras em um processador de alimentos portátil (Mondial, modelo Super Centrifuga Premium, Brasil).

Os teores de sólidos solúveis (SS) foram determinados com auxílio de refratômetro manual digital (Atago Palette, modelo PR-101, USA). Os resultados foram expressos em porcentagem (Zenebon et al., 2008).

O conteúdo de acidez titulável (AT) foi determinado conforme metodologia descrita por Ryan e Dupont (1973) por meio da titulação das amostras com solução de NaOH 0,1 N até o pH = 8,2. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

2.5.7. Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico (AA) foi determinado mediante análise do extrato celular, utilizando o reativo de Tillmans, conforme método descrito por Zenebon et al. (2008). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ MF.

2.5.8. Compostos fenólicos

O conteúdo de compostos fenólicos (CF) foi determinado conforme o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse (2012), com modificações. Para a extração dos CF, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas, diluídas em 10 mL de acetona 80%, colocadas em tubos de ensaio com tampa, deixadas em repouso sob refrigeração durante 24 horas e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 200 µL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio, adicionando-se 1925 µL de água e 125 µL do reagente Folin-Ciocalteu. Após agitação, a mistura permaneceu em repouso por 5 minutos e logo após foi adicionado 250 µL de CaCO₃ 20%, seguida de agitação e repouso em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico 100 g⁻¹ MF.

2.5.9. Açúcares solúveis

Os açúcares solúveis (AS) foram estimados como descrito por Yemm e Willis (1954), com modificações. Para a extração dos AS, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas, diluídas em 100 mL de água desionizada e depois filtradas em papel filtro. Alíquota de 500 µL do filtrado foi transferida para tubo de ensaio em banho de gelo, adicionando-se 500 µL de água desionizada e lentamente 2000 µL de antrona. Após a agitação, a mistura foi colocada em água fervente por 3 minutos. O resfriamento se deu em banho de gelo, até atingir temperatura ambiente. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 620 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose 100 g⁻¹ MF.

2.5.10. Açúcares redutores

Os açúcares redutores (AR) foram estimados pelo método calorimétrico do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), descrito por Vasconcelos et al. (2013) com modificações. Foi usado o mesmo filtrado dos AS. Alíquota de 500 μL do filtrado foi transferido para tubo de ensaio e adicionado 500 μL da solução de DNS. Após a agitação, a mistura foi colocada em água fervente por 15 minutos. A solução foi resfriada em banho de gelo, adicionando-se 4 mL de água desionizada. As amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil) no comprimento de onda 540 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose $100\text{ g}^{-1}\text{ MF}$.

2.5.11. Enzima Pectinametilesterase - PME (E.C. 3.1.1.11)

A extração para a determinação da atividade enzimática foi realizada como descrito por Vicente et al. (2005); Costa (2009) com modificações. Para a extração da PME, as amostras foram maceradas em N_2 líquido, pesadas, novamente maceradas em almofariz com 10 mL de NaCl 1 M contendo 10 g L^{-1} de PVP. O homogenato foi mantido em repouso em tubos de Falcon™, com agitação manual em intervalos de 30 minutos, durante quatro horas e centrifugada a 4000 g, por 60 minutos, a 4 °C. O sobrenadante coletado teve o pH ajustado para 7,5 com NaOH 0,01 M e HCl 0,01 M para a determinação de atividade da PME. A atividade foi realizada a partir de uma mistura em tubo de ensaio contendo 600 μL de pectina, 0,5% (p/v), 200 μL de azul de bromotimol 0,01% (p/v), e 200 μL de extrato enzimático, na reação controle adicionou-se água desionizada no lugar do extrato. Todas as soluções foram ajustadas para pH 7,5 antes do procedimento de dosagem para medir a atividade da enzima. A mistura permaneceu em banho-maria a 37 °C por seis minutos, e as leituras monitoradas a 620 nm, em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil), conforme Vicente et al. (2005); Costa (2009). Os resultados da PME foram expressos em equivalentes de ácido galacturônico (AG) 0,87 mM, produzido na reação ($\mu\text{M AG h}^{-1}\text{g}^{-1}\text{ MF}$).

2.5.12. Enzima Poligalacturonase - PG (E.C. 3.2.1.15)

A extração para a determinação da atividade enzimática foi realizada como descrito por Nogata et al. (1993); Villarreal et al. (2008) com modificações. Para a extração da PG, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas, novamente maceradas em almofariz com 10 mL de tampão acetato de sódio 50 mM (pH 6,0) contendo 10 g L⁻¹ de PVPP (Tampão A). O homogenato foi centrifugado a 4.000 g durante 60 minutos e o sobrenadante foi descartado. O sedimento foi lavado duas vezes com 10 mL de tampão A, foi suspenso e foi adicionado 10 mL de tampão acetato de sódio 50 mM (pH 6,0) contendo 10 g L⁻¹ de PVPP e NaCl 1 M (Tampão B). A mistura foi deixada em repouso em tubos de Falcon™, com agitação manual em intervalos de 30 minutos, durante duas horas, a 4 °C. Após, foi centrifugada a 4000 g, por 60 minutos, a 4 °C. O sobrenadante foi coletado e usado para a determinação da atividade da PG. O volume de 1000 µL de extrato enzimático foi incubado a 37°C com 1000 µL de ácido poligalacturônico (APG) a 0,3% (p / v) em tampão A. Alíquotas de 100 µL da mistura foram coletadas após 0 e 6 horas de reação, na reação controle foi adicionado tampão B no lugar da mistura (extrato + APG). A reação foi interrompida com a adição de 1 mL de tampão tetraborato de sódio 100 mM (pH 9,0) gelado e de 2-cianoacetamida a 1%. Após agitação a mistura foi colocada em água fervente por 10 minutos (Gross, 1982; Villarreal et al., 2008). A mistura foi transferida para uma cubeta de quartzo e a leitura feita a 276 nm, em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil). Os resultados da PG foram expressos em equivalentes de ácido galacturônico (AG) 1 mM, produzido na reação (µM AG h⁻¹g⁻¹ MF).

2.5.13. Enzima Álcool desidrogenase - ADH (EC 1.1.1.1)

A extração para a determinação da atividade enzimática foi realizada como descrito por Fernández-Trujillo et al. (1999) com modificações. Para a extração da ADH, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas, novamente maceradas em almofariz com 2 mL de tampão MES 100 mM (pH 6,5) contendo 1 g L⁻¹ de PVP, 1 mM de sulfato de zinco heptaidratado, 1 mM de fluoreto de fenilmetilsulfonil e 10 mM de β-mercaptoetanol. O homogenato foi filtrado em algodão e centrifugado a 4.000 g durante 60 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi coletado e usado para a determinação da atividade da ADH. A atividade foi realizada conforme Ke et al.

(1994) com modificações, a partir de uma mistura em cubetas de quartzo contendo 800 µL de tampão MES 100 mM (pH 6,5), 50 µL de NADH 1,6 mM, 100 µL de extrato enzimático, e 50 µL de Acetaldeído 80 mM e as leituras foram monitoradas a 340 nm por 2 min, em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil). Os resultados da ADH foram expressos em UE de ADH min⁻¹g⁻¹ FM.

2.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o software Agroestat, versão 1.0 (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015). Em relação ao tempo de armazenamento foram feitas análises de regressão, sendo que os modelos polinomiais foram selecionados observando-se a significância do teste F e as equações foram ajustadas de acordo com o maior valor de R².

3. Resultados e discussão

3.1. Perda acumulada de massa e firmeza

Na Fig. 2A verifica-se que houve maior perda acumulada de massa (PM) nos frutos controle. Nos frutos tratados, a formulação HPMC+20% CA apresentou as menores médias de PM. Ao final do experimento (8º dia de armazenamento) os frutos recobertos com HPMC+20% CA apresentaram perda de massa acumulada 24% menor em relação ao controle. Isso significa que o recobrimento com 20% CA manteve por mais dois dias a umidade dos frutos.

A PM nos frutos durante o armazenamento, ocorre devido o processo de transpiração, que depende do gradiente de pressão do vapor de água entre a atmosfera circundante e o tecido da fruta (Khaliq et al., 2015). O recobrimento aplicado na superfície dos frutos forma uma barreira semipermeável ao vapor de água, que reduz as taxas deste processo (García-Betanzos et al., 2017). No entanto, os revestimentos a base de HPMC são barreiras ineficientes a umidade, devido a suas características hidrofílicas, sendo necessário a adição de uma substância hidrofóbica, como a cera de abelha (Klangmuang e Sothornvit, 2016). Esse comportamento foi observado na formulação com 10% CA, que entre os

tratamentos, apresentou a maior PM acumulada no final do armazenamento (Fig. 2A).

A adição de ceras comestíveis, como a cera de abelha, cria uma atmosfera internamente modificada que reduz a PM, enquanto aumenta a permeabilidade ao O_2 do recobrimento (Zambrano-Zaragoza et al., 2013; Klangmuang e Sothornvit, 2016). Ou seja, quanto menor a permeabilidade ao fluxo do O_2 do tecido vegetal, menor será a taxa respiratória dos frutos e, conseqüentemente, menor será a transpiração. Isso foi constatado nos frutos recobertos com 40% CA (Fig. 2A e 3A), que tiveram PM acumulada superior aos frutos tratados com 20% CA.

Houve redução de firmeza nas goiabas 'Pedro Sato' durante o armazenamento (Fig. 2B). Nos frutos controle, os valores de firmeza decresceram de 27,3 (dia 0) a 8,8 N (dia 8), o que representou uma redução de 67%. Os tratamentos com 10% e 20% CA foram os mais eficientes na manutenção da firmeza, apresentando uma redução de apenas 21% e 20% em relação aos valores iniciais, respectivamente. Os valores de firmeza observados nos frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA no oitavo dia foram equivalentes aos valores apresentados nos frutos controle no segundo dia de armazenamento (Fig. 2B), o que representa, no mínimo, seis dias a mais de conservação.

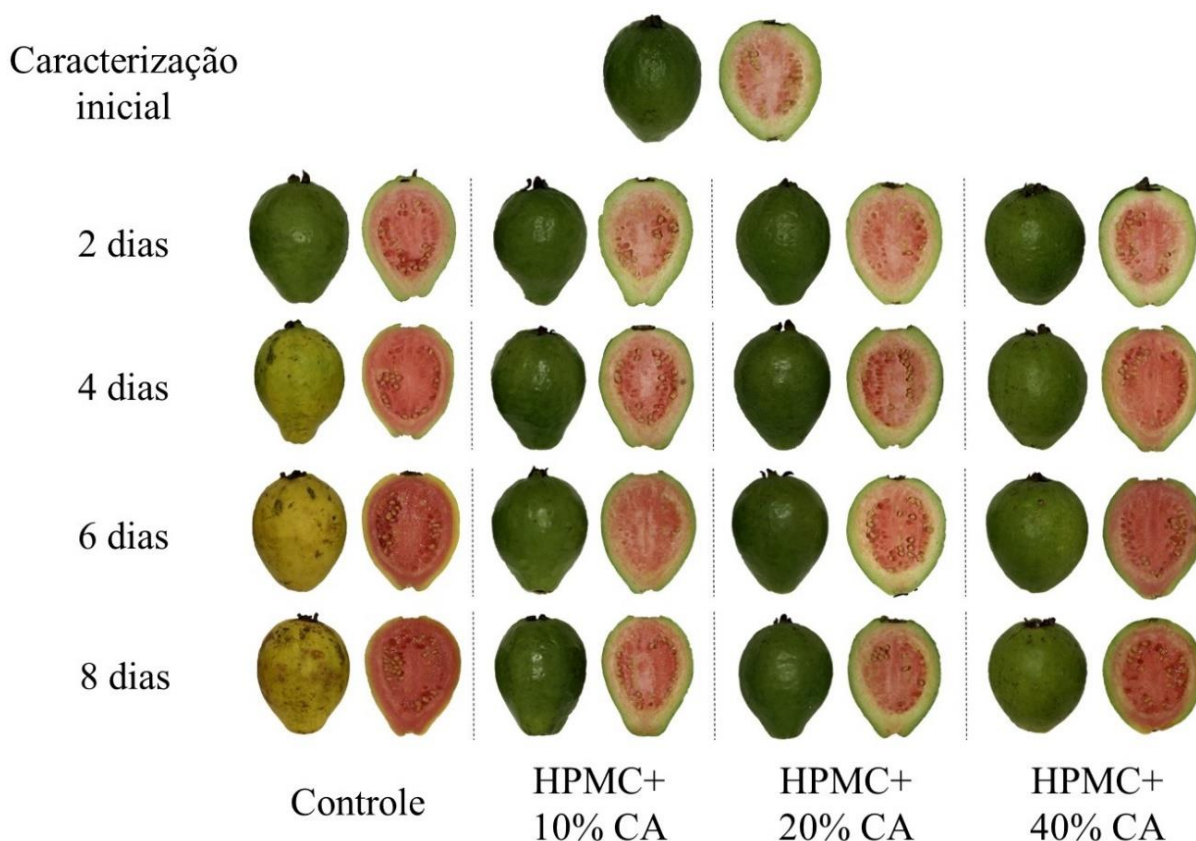


Figura 1. Goiabas 'Pedro Sato' revestidas com hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR.

A perda de firmeza é um fato inevitável que ocorre mais cedo ou mais tarde, dependendo das diferentes condições experimentadas pela fruta durante o período pós-colheita (Salvador et al., 2007). A goiaba 'Pedro Sato' perde rapidamente a firmeza após a colheita (Abreu et al., 2012b) e o amolecimento é o principal fator limitante na conservação dos frutos. A retenção de firmeza nos frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA pode ser explicada pela degradação retardada de componentes responsáveis pela rigidez estrutural da fruta (pectina insolúvel e protopectina) (Maftoonazad et al., 2008), que ocorreu devido a limitação na disponibilidade de O₂ e o acúmulo de CO₂ provocado pelos recobrimentos. Essa alteração na composição gasosa interna dos frutos pode inibir a atividade das enzimas envolvidas na degradação da parede celular e permitir a retenção da firmeza durante o armazenamento (Chitravathi et al., 2014).

McGuire e Hallman (1995) verificaram o acréscimo de 10% nos valores de firmeza em goiabas recobertas com 4% de HPMC em relação a goiabas tratadas com 2% de HPMC. Comparativamente, a formulação com HPMC+20% CA (3% de

HPMC) apresentou valores de firmeza 29% superiores aos resultados da formulação HPMC+40% CA, que possui 2,1% de HPMC (Tab. 1). Estes resultados demonstram a maior eficiência do HPMC em relação a cera de abelha na manutenção da textura dos frutos e evidenciam que o bloqueio parcial ao fluxo de O₂ e CO₂ reduz significativamente a perda de firmeza dos frutos. O uso de recobrimentos comestíveis a base de HPMC em goiabas também foram estudados por Vishwasrao e Ananthanarayan (2016), que constataram a manutenção da firmeza dos frutos recobertos com HPMC 1% + óleo de palma durante 12 dias (24 °C).

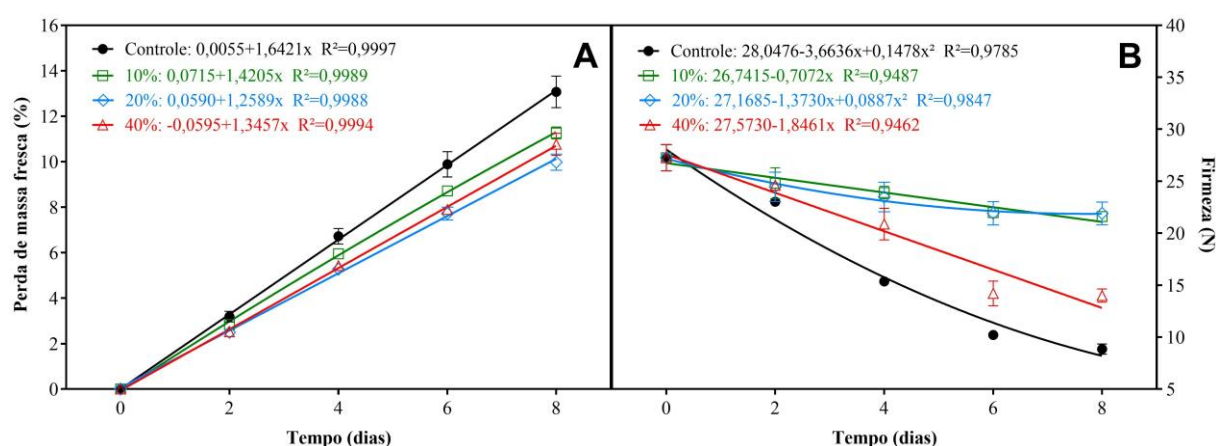


Figura 2. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na perda de massa (A) e na firmeza (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

3.2 Atividade respiratória e produção de etileno

Houve incremento na taxa respiratória das goiabas do controle durante o armazenamento (Fig. 3A). Esse comportamento é característico de goiabas 'Pedro Sato', que, por ser uma fruta climatérica, aumentam a atividade respiratória gradualmente durante o processo de maturação (Mattiuz e Durigan, 2001; Azzolini et al., 2005). Em todos os dias avaliados, os frutos do controle apresentaram taxas respiratórias superiores as observadas nas goiabas revestidas com HPMC+CA (Fig. 3A). Verificou-se que as goiabas tratadas com 10% CA obtiveram as menores taxas, seguidas pelo recobrimento com 20% CA.

A aplicação dos recobrimentos permitiu a formação de uma cobertura que preenche parcialmente as lenticelas e os estômatos do epicarpo dos frutos, reduzindo, dessa forma, a respiração (Luvielmo e Lamas, 2012). Nos frutos recobertos houve a redução da produção de CO₂, devido a regulação do processo respiratório proporcionado pela atmosfera modificada gerada pelos recobrimentos (Navarro-Tarazaga et al., 2011). Assim, os recobrimentos com HPMC+CA reduziram o processo respiratório (Fig. 3A), retardando o processo de maturação dos frutos (Fig. 1). Nota-se que a produção de CO₂ dos frutos revestidos aumentou proporcionalmente ao acréscimo de CA na formulação, reforçando a teoria de que a cera de abelha não forma uma barreira eficiente ao fluxo de gases (Zhao, 2018).

A barreira ao O₂ formada pelos revestimentos de HPMC+CA inibiu a biossíntese de etileno durante o amadurecimento. Na Fig. 3B verifica-se que nas goiabas recobertas com HPMC e 10% e 20% CA não foi detectado etileno e os frutos tratados com HPMC+40% CA apresentaram uma pequena concentração de etileno no oitavo dia de armazenamento (Fig. 3B). Esse comportamento é devido à inibição da ativação da enzima ACC oxidase causada pela baixa concentração de O₂. Além disso, a concentração de CO₂ atua como um inibidor competitivo do etileno e regula a sua ação auto catalítica (Chitarra e Chitarra, 2005).

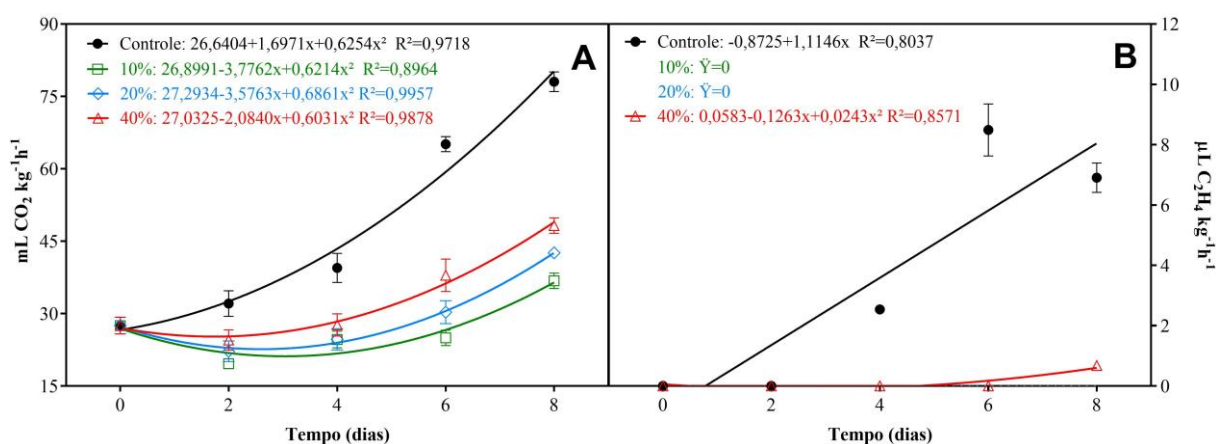


Figura 3. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na taxa respiratória (A) e na produção de etileno (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Os frutos do controle produziram etileno a partir do quarto dia de armazenamento e o pico de produção de etileno ocorreu no sexto dia (Fig. 3B). Contudo, o pico de etileno pode ter ocorrido em um período além do estudado nesse trabalho. Em goiabas 'Pedro Sato' armazenadas entre 22-23 °C, o pico de etileno foi detectado no nono dia de armazenamento, quando os frutos se encontravam em um estágio de maturação avançado (Azzolini et al., 2005; Abreu et al., 2012b).

Nota-se uma relação entre a síntese de etileno e a produção de CO₂ nos frutos controle. No intervalo entre o quarto e o sexto dia de armazenamento, ocorreu um acréscimo de 71% na produção de CO₂ (Fig 3A), que coincide com o período onde foi observado a maior síntese de etileno pelos frutos (Fig. 3B). O etileno acelera o metabolismo dos frutos e consequentemente aumenta a taxa respiratória. Os frutos revestidos com HPMC e 10% e 20% CA apresentaram produção de CO₂ 49% inferior aos frutos controle. Essa diferença é consequência do acúmulo de CO₂ no interior dos frutos e explica a retenção da firmeza observada nos frutos recobertos com 10% e 20% CA (Fig 2B).

3.3 Cor e pigmentos do epicarpo

Na Fig. 4A verifica-se que a luminosidade (L*) do epicarpo dos frutos revestidos com HPMC+CA foi inferior aos frutos sem recobrimento. O clareamento observado no epicarpo dos frutos sem recobrimento indica alterações na concentração dos pigmentos e evidencia o avanço da maturidade. As goiabas recobertas com HPMC e 10% e 20% CA mantiveram a L* constante durante todo o período de armazenamento, indicando o retardo do amadurecimento normal dos frutos.

Nos frutos revestidos com HPMC e 10% e 20% CA os valores de ângulo Hue mantiveram-se constantes ($116^{\circ} \pm 1$) ao longo do armazenamento (Fig. 4B). Os frutos controle apresentaram as maiores reduções no ângulo Hue, de 117° (dia 0) a 95° ao final do período, indicando que a cor mudou de verde para amarela. Na Fig. 1 verifica-se que os frutos revestidos se mantiveram verdes durante os oito dias de armazenamento e apresentaram valores de ângulo de Hue superiores a 110° . Segundo Azzolini et al. (2004) a coloração amarela só é observada quando o h° for inferior a 100° .

Os valores de cromaticidade (C^*) do epicarpo das goiabas apresentaram comportamento similar à luminosidade (Fig. 4A). Os valores de C^* aumentaram ao longo do período para o controle, variando de 41 a 53, enquanto a C^* para os frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA apresentaram valores constantes, em torno de 41 (Fig. 3C).

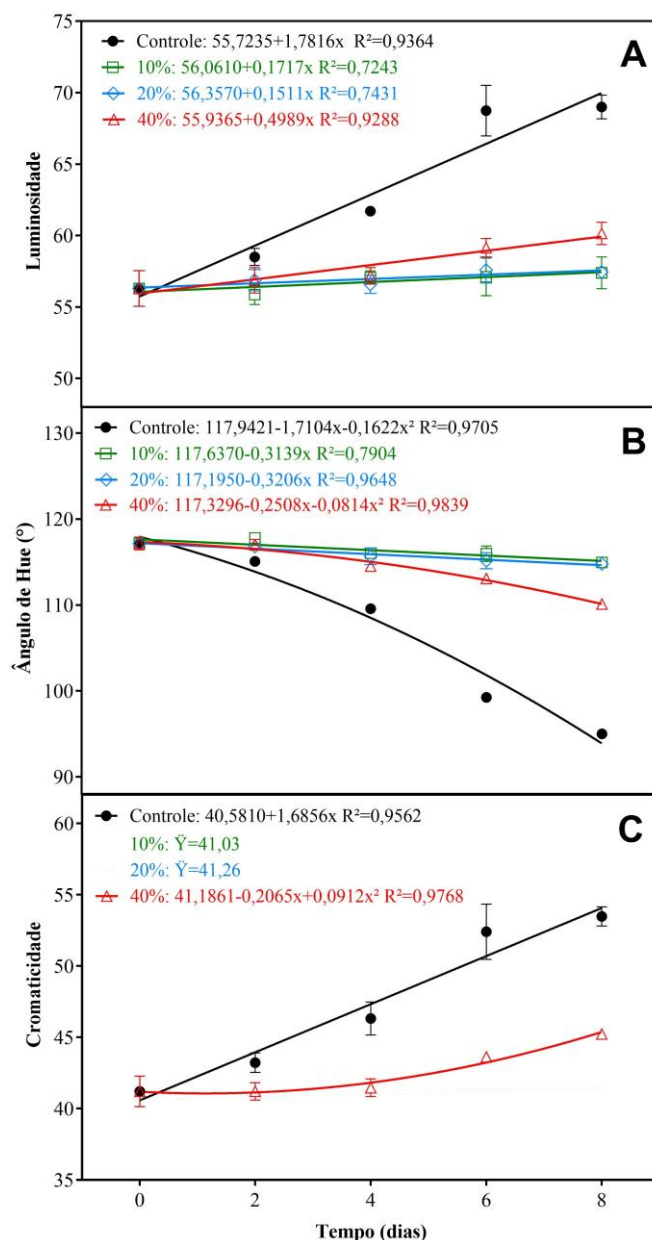


Figura 4. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na evolução da luminosidade (A), ângulo de Hue (B) e cromaticidade (C) do epicarpo de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito

dias a 22 °C e 65% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

As condições de baixo O₂ e elevado CO₂ induzidas pelos revestimentos com HPMC+CA mantiveram os valores de luminosidade, Hue e Croma no epicarpo dos frutos constantes (Fig. 4A, 4B e 4C). Esses resultados são decorrência da baixa atividade metabólica (respiração) e da inibição da síntese de etileno, ocorridas nos frutos com recobrimento (Fig. 3B). O etileno é um fito-hormônio que inicia e acelera os processos de amadurecimento, causa a degradação da clorofila, tira a aparência de fruto recém colhido e prejudica a qualidade visual (Wyrwa e Barska, 2017). Em termos de aparência externa, a vida útil das goiabas foi prolongada em cerca de quatro dias pela presença de revestimentos. A cor do epicarpo é um aspecto muito importante que determina a qualidade de uma fruta em termos de maturidade e tempo de colheita, e ainda influencia a preferência do consumidor (Nair et al., 2018).

Verifica-se nas Fig. 5A e 5B que as goiabas 'Pedro Sato' tinham em média, maior conteúdo de clorofila *a* (Cla) (8,3 mg kg⁻¹ MF) do que de clorofila *b* (Clb) (7,5 mg de clorofilas kg⁻¹ MF). Essa proporção de clorofilas em goiabas 'Pedro Sato' pode ser influenciada pelo estágio de maturação dos frutos. Também foi observado que a Cla foi mais afetada durante os oitos dias armazenamento do que a Clb. Esse comportamento foi mais intenso nos frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA, indicando que as condições atmosféricas impostas por esses recobrimentos tiveram efeito sobretudo na manutenção dos teores da Clb. Jain et al. (2001) observou em goiabas 'Lucknow-49' que a Cla e a Clb diminuíram de modo semelhante durante o amadurecimento. Esse comportamento foi observado nas goiabas controle e nas recobertas com HPMC+40% CA (Fig. 5A e 5B).

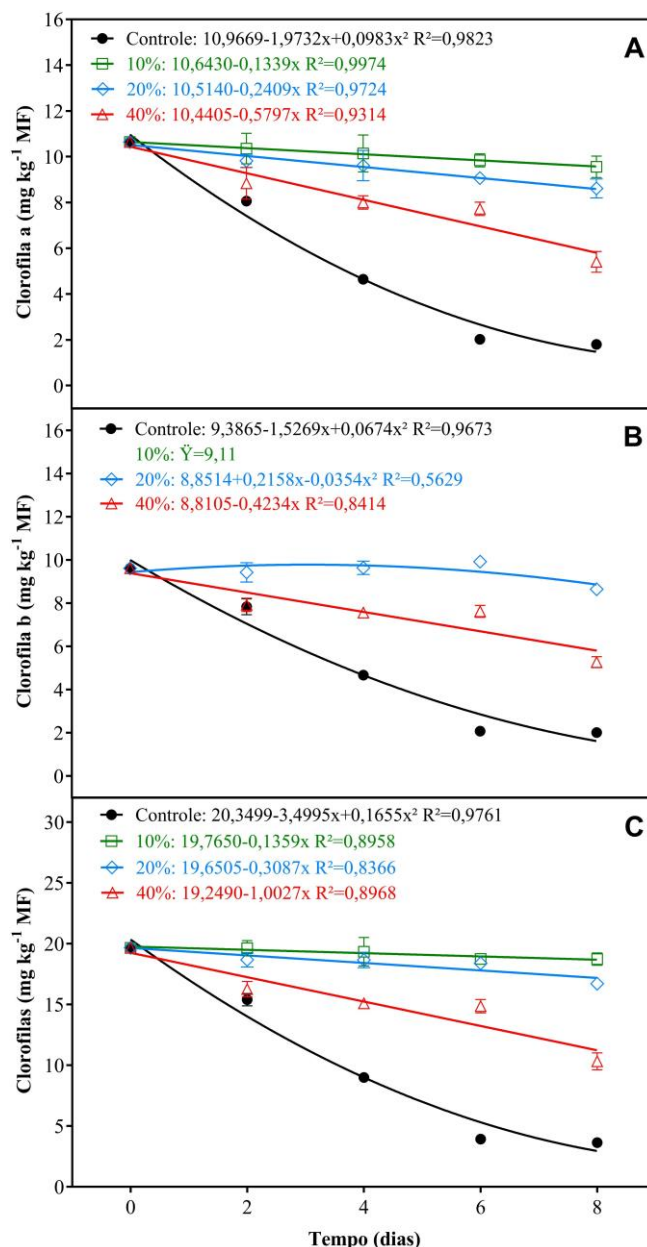


Figura 5. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofilas (C) de goiabas "Pedro Sato" armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR. 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

O processo de maturação dos frutos é acompanhado por uma série de transformações físicas e bioquímicas, que resultam na degradação das clorofilas (Botelho et al., 2016). O recobrimento com HPMC+10% CA teve efeito positivo na conservação dos teores de clorofilas, que se mantiveram praticamente constantes ($19,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MF} \pm 45$) durante o armazenamento (Fig. 5C). Nos frutos recobertos com HPMC e 20% e 40% CA os valores de clorofilas decresceram 15% e 47% no

oitavo dia de armazenamento, respectivamente. Contudo, foram nos frutos controle que foi observada a maior degradação desses pigmentos. Os valores de clorofila reduziram 81% no período avaliado, indicando que os frutos entraram em senescência, uma vez que a decomposição da clorofila é um mecanismo de desintoxicação durante a senescência, que é vital a sobrevivência do vegetal (Hörtensteiner, 2006).

No oitavo dia de armazenamento as goiabas revestidas com HPMC e 10%, 20% e 40% de CA apresentaram 18,7, 16,7 e 10,3 mg de clorofilas kg^{-1} MF, respectivamente (Fig. 5C). Nota-se que o teor de clorofila foi dependente da concentração de CA na formulação. Os recobrimentos com maiores concentrações de HPMC limitam o O_2 interno dos frutos e provocam o acúmulo do CO_2 . Atmosferas pobres em O_2 e ricas em CO_2 reduzem a respiração dos frutos (Fig. 3A), a síntese e a ação do etileno (Fig. 3B) (Beaudry, 2000) e inibem a degradação enzimática da clorofila (Bobbio e Bobbio, 1992).

As moléculas de clorofilas estão localizadas nos cloroplastos, onde estão associadas e ao mesmo tempo protegidas dos componentes destrutivos pelas proteínas e lipídios (carotenoides) (Bobbio e Bobbio, 1992). Dentro dos tecidos, os pigmentos são frequentemente compartimentados e protegidos dos processos oxidativos (Von Elbe, 1996), sendo que a manutenção da estabilidade da parede celular protege os cloroplastos e conseqüentemente as clorofilas da ação de enzimas degradativas durante o amadurecimento. Simultaneamente, o baixo O_2 interno disponível nos frutos reduz a atividade da enzima peroxidase, que também participa no processo de degradação das clorofilas (Jain et al., 2001).

3.4. Características físico-químicas

Os frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA apresentaram valores crescentes de sólidos solúveis (SS) durante os oito dias de armazenamento (Fig. 6A), demonstrando que houve um controle sobre a maturação dos frutos e que o processo de amadurecimento não causou nenhum prejuízo em relação aos SS até o final do período. Nos frutos controle e recobertos com HPMC+40% CA os SS aumentaram até o sexto e quarto dia, respectivamente. A redução nos valores de SS nos frutos tratados com HPMC+40% CA (Fig. 6A) demonstra que o metabolismo

desses frutos estava mais acelerado que os frutos tratados com HPMC e 10% e 20% CA. A queda nos valores de SS ocorre pela aceleração do metabolismo dos frutos e o consequente esgotamento dos açúcares pelo processo respiratório. Nos frutos controle, a maior redução nos valores de SS pode indicar o final do processo de hidrólise do amido e a solubilização da parede celular (Gill et al., 2016). A menor intensidade na redução dos SS nos frutos recobertos com HPMC+CA pode ter sido causada pela atmosfera modificada imposta pelos recobrimentos. Essas alterações podem prolongar o processo natural de conversão dos açúcares, ao diminuir a taxa respiratória dos frutos (Oliveira et al., 2018). A redução brusca nos teores de SS observada após o sexto dia nos frutos controle pode ser o indicativo que os frutos estavam próximos da senescência (Oliveira et al., 2018).

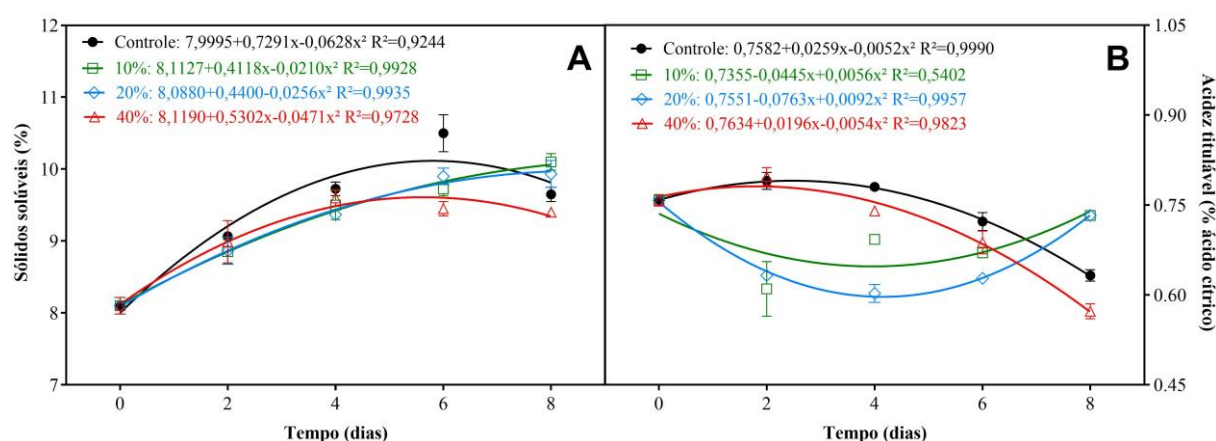


Figura 6. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR). 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Verifica-se na Fig. 6B que os tratamentos propiciaram comportamentos distintos para a acidez titulável (AT) ao longo do armazenamento. Para os frutos controle e os tratados com HPMC+40% CA a AT aumentou nos dois primeiros dias de armazenamento, alcançando os maiores valores durante o experimento (0,79% no controle e 0,80% no HPMC+40% CA), seguido por um decréscimo nos outros seis dias de avaliação. Já para os frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA os

valores de AT diminuíram nas primeiras avaliações e voltaram a aumentar até o oitavo dia, onde os valores de AT alcançaram os valores mais elevados (0,73%).

Provavelmente o aumento inicial da AT nos frutos controle tenha ocorrido: pela síntese de ácido ascórbico (Fig. 7A) e de compostos fenólicos (Fig. 7B) em resposta ao metabolismo acelerado, e a liberação do ácido poligalacturônico pela enzima poligalacturonase (Fig. 9B) (Pereira et al., 2005). No quarto dia de armazenamento, a síntese de etileno (Fig. 3B) acelerou o processo respiratório dos frutos de modo que os ácidos orgânicos passaram a serem utilizados na respiração dos frutos, provocando a redução nos valores de AT. Nos frutos recobertos com HPMC+40% CA a síntese de compostos fenólicos e a liberação do ácido poligalacturônico foram os prováveis responsáveis pelo aumento da AT. Contudo, a acidez nos frutos com HPMC+40% CA foi inferior à observada no controle, mesmo não sendo detectadas grandes quantidades de etileno. Isso pode ter ocorrido devido a menor concentração de compostos fenólicos e pela menor ação da enzima poligalacturonase (Fig. 9B) nos frutos. Outro possível fator seria o uso dos ácidos orgânicos como fonte de carbono, devido a menor presença de açúcares (Fig. 8A).

É provável que frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA tenham utilizado os ácidos orgânicos como substrato na respiração, razão pela qual houve redução da AT no início do armazenamento. Com o avanço do amadurecimento e a degradação da parede celular, acúmulo de CO₂ (e sua conversão em ácido carbônico), menor taxa respiratória, é de se esperar o acúmulo de ácidos orgânicos nos frutos, mantendo o continuo aumento da AT durante o armazenamento indica o atraso da maturação dos frutos, uma vez que o declínio da acidez está diretamente ligado ao processo natural de maturação (Brackmann et al., 2012).

3.5 Teores de compostos bioativos

As maiores concentrações de ácido ascórbico (AA) foram observadas nas goiabas recobertas com HPMC+10% CA e as menores com HPMC+20% CA (Fig. 7A). Nos frutos controle e os recobertos com HPMC+10% CA e HPMC+40% CA, os aumentos dos valores de AA até o quarto dia são indícios de que os frutos foram colocados sob condição de estresse, que provavelmente ocorreu devido a exposição dos frutos a uma atmosfera de baixo oxigênio, e elevada concentração de CO₂,

levando a mudanças no estado redox da fruta (Novillo et al., 2014). A degradação dos polissacarídeos da parede celular, resulta em um aumento na galactose, que é um dos precursores da biossíntese de AA (Oliveira et al., 2018). Em goiabas 'Pedro Sato' há um aumento no conteúdo total do AA até um determinado ponto do amadurecimento, onde há prevalência na síntese de AA em relação a sua utilização como antioxidante (Gomez e Lajolo, 2008). Em seguida, os teores de AA nesses tratamentos decresceram até o final do armazenamento. No caso do uso do recobrimento HPMC+20% CA, os teores de AA nos frutos reduziram gradativamente ao longo do armazenamento (Fig. 7A), indicando que o metabolismo foi reduzido e, por conseguinte, houve um atraso no amadurecimento dos frutos. Nota-se que este comportamento está ligado ao processo de amadurecimento dos frutos. O teor de AA diminui devido ao estresse oxidativo e a atividade enzimática que ocorrem nos frutos durante o amadurecimento (García-Betanzos et al., 2017).

Quando a necessidade de antioxidantes aumenta e as reservas energéticas diminuem, ocorre o bloqueio das vias responsáveis pela síntese de AA e a prevalência passa a ser da utilização do AA como antioxidante.

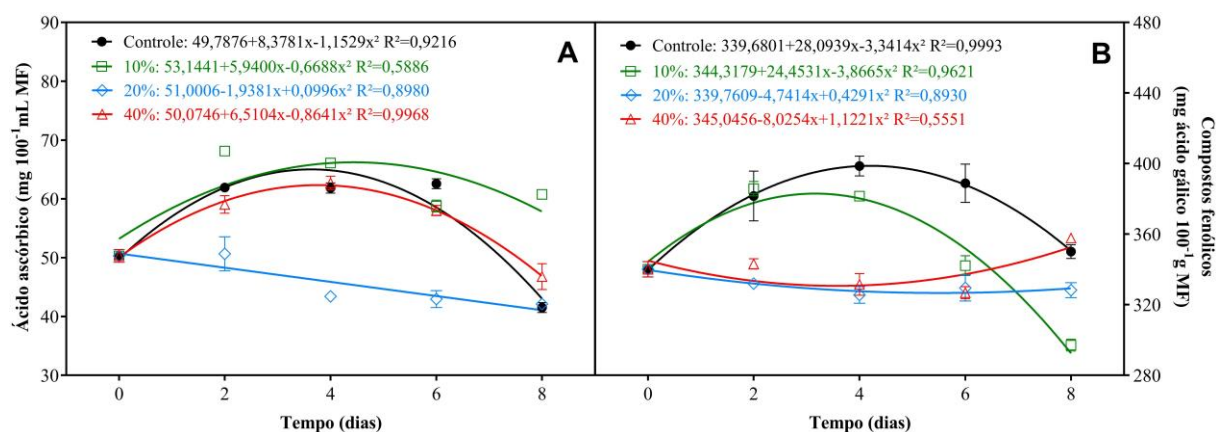


Figura 7. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de ácido ascórbico (A) e de compostos fenólicos (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR). 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Nos frutos controle e recobertos com HPMC+10% CA foi observado um pico na produção de compostos fenólicos (CF) (Fig. 7B). Os frutos controle apresentaram os maiores valores de CF, que variaram de 340 a 399 mg AG 100 g⁻¹ MF,

representando um incremento de 17% no conteúdo de CF nos quatro primeiros dias de armazenamento. Verificou-se uma possível relação entre o aumento dos CF e o crescimento da atividade da enzima poligalacturonase nos frutos controle (Fig. 9B), que atua na degradação da pectina e indiretamente pode liberar CF que estavam ligados a polissacarídeos que compõe a parede celular (Braga et al., 2018). O aumento dos CF nos frutos com HPMC+10% CA pode ter sido uma medida de adaptação do fruto ao estresse causado pela escassez de O₂. Nas goiabas do controle verifica-se que o comportamento dos dados de taxa respiratória (Fig. 3A) foi inversamente proporcional à dos compostos fenólicos (Fig. 7B), justificando a importância do processo respiratório na síntese de compostos secundários (fenóis) dos vegetais.

Os frutos recobertos com HPMC e 20% e 40% CA apresentaram pouca variação nos teores de CF ao longo do período. As baixas concentrações de O₂ propiciadas por esses recobrimentos inibiram a síntese de etileno que, por sua vez, reduziu a respiração dos frutos, prejudicando a síntese dos compostos fenólicos por meio do metabolismo secundário (Chitarra e Chitarra, 2005). A manutenção dos valores de CF nos frutos com HPMC+20% CA indicam que esse tratamento criou uma barreira mais maleável ao fluxo de O₂ e CO₂, retardando de forma mais equilibrada a maturação dos frutos, conforme já descrito para os teores de AA (Fig. 7A).

3.6 Teores de açúcares

Durante o processo de maturação, o conteúdo de açúcares solúveis (AS) em goiabas 'Pedro Sato' tende a aumentar, mesmo sob refrigeração (Linhares et al., 2007). Nos frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA foi observado um aumento linear do conteúdo de AS nos frutos (Fig. 8A). Esse comportamento foi observado por Linhares et al. (2007) em goiabas armazenadas a 10 °C, sugerindo que os tratamentos com 10% e 20% CA tiveram efeito equivalente ao da refrigeração nas goiabas 'Pedro Sato', em pelo menos oito dias de armazenamento. Nos frutos controle e recobertos com HPMC+40% CA os valores de AS aumentaram até o quarto dia, seguido de redução até o oitavo dia de armazenamento. Os frutos controle apresentaram as maiores médias, refletindo o metabolismo acelerado dos

frutos deste tratamento e confirmando o amadurecimento mais rápido que os demais tratamentos (Fig. 1). Esse comportamento é demonstrado pelo aumento no consumo dos açúcares (Fig. 8A e 8B) e dos ácidos orgânicos (Fig. 6B) como substrato no processo respiratório para produção de energia química (ATP).

No oitavo dia de armazenamento o conteúdo de AS nos frutos com HPMC+10% (9,2 g de glicose 100g⁻¹ MF) e HPMC+20% CA (9,0 g de glicose 100g⁻¹ MF) eram semelhantes aos valores de AS nos frutos controle no segundo e quarto dia, respectivamente. Isso corresponde a um ganho de no mínimo quatro dias na comercialização desses frutos. Em condições de baixo O₂, ocorrem respostas metabólicas primárias, entre elas há reações benéficas como a redução da taxa respiratória (Fig. 3A), que pode se manifestar como uma redução na degradação do amido e no consumo de açúcares (Beaudry, 2000). Essas alterações no metabolismo dos frutos podem ser observadas quando não há intensas variações no conteúdo de AS, como ocorreu nos frutos recobertos com HPMC e 10% e 20% CA (Fig. 8A).

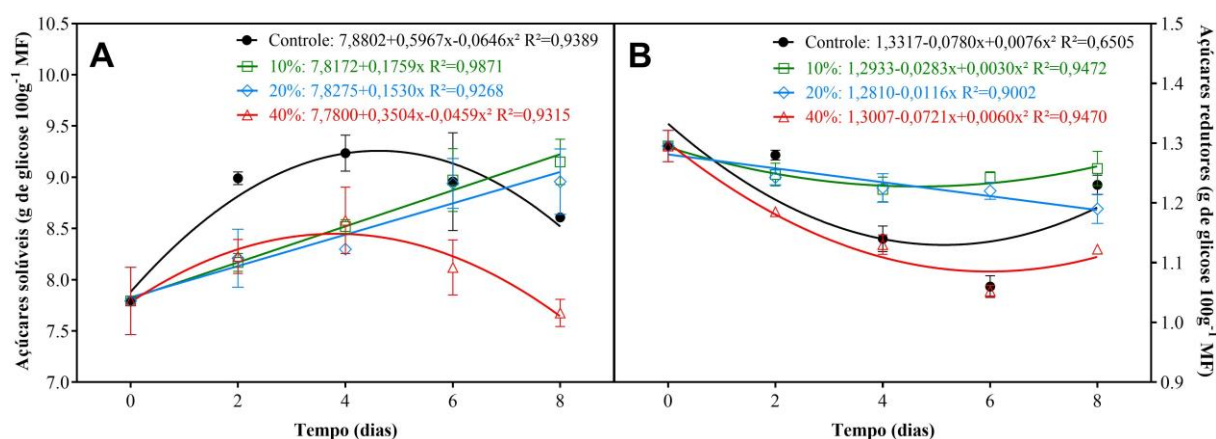


Figura 8. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nos teores de açúcares solúveis (A) e açúcares redutores (B) de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR). 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Os frutos controle e recobertos com HPMC+40% CA apresentaram os menores conteúdos de açúcares redutores (AR) (Fig. 8B). O menor valor de AR nos frutos controle foi observado no sexto dia de armazenamento e coincidiu com o pico de síntese do etileno nos frutos (Fig. 3B). O etileno controla a maturação de frutos

climatérios, como a goiaba, e causa a elevação do processo respiratório e do consumo da glicose (Giovannoni et al., 2017). A redução dos AR nos frutos com 10% CA é um indício que houve o desvio da glicose (piruvato) para via anaeróbica, devido à limitação do fluxo de O₂ imposta pelo recobrimento. Nota-se que nos frutos recobertos com HPMC+20% CA os valores de AR apresentaram pouca variação, demonstrando que o recobrimento com HPMC+20% CA bloqueia de forma mais eficiente o fluxo de O₂ e retarda o amadurecimento dos frutos sem comprometer a qualidade dos mesmos.

3.7 Enzimas de parede

Verifica-se na Fig. 9A que houve incremento na atividade da enzima pectina metil esterase (PME) nos frutos recobertos com HPMC+CA. O recobrimento com 10% CA foi o que mais influenciou no aumento da atividade da PME (443 a 530 $\mu\text{M AG min}^{-1}\text{g}^{-1}\text{ MF}$), representando um incremento de 16% em relação à atividade inicial. A atividade da PME em frutas geralmente se inicia durante a maturidade fisiológica e aumenta com o amadurecimento dos frutos (Gill, 2015; García-Betanzos et al., 2017). Entretanto, verifica-se um comportamento diferente neste experimento. Nota-se na Fig. 9A que a atividade da PME diminuiu nos frutos controle durante o amadurecimento e aumentou nos frutos recobertos, que tiveram o processo de amadurecimento retardado. A diminuição da atividade da PME durante o armazenamento refrigerado de goiabas “Pedro Sato” também foi observada por Linhares et al. (2007) e Botelho et al. (2016), sugerindo que nas goiabas ‘Pedro Sato’ o amaciamento dos frutos é causado principalmente pela ação de outras esterases e pela atividade da enzima poligalacturonase (PG).

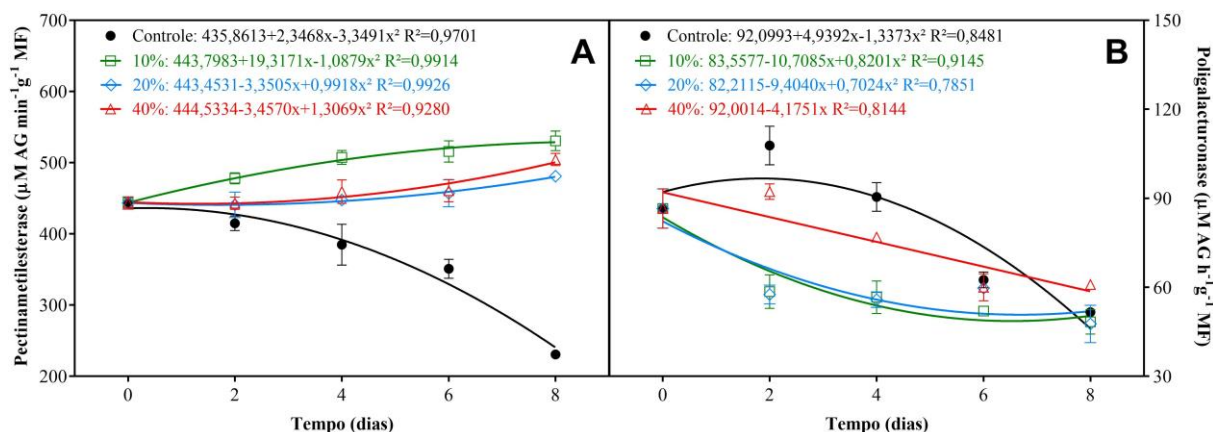


Figura 9. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na atividade das enzimas Pectinametilesterase (A) e Poligalacturonase (B) de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas durante oito dias a 22 °C e 65% UR). 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

Para que ocorra atividade da enzima PG, é necessário que a enzima PME esterifique as cadeias de ácido galacturônico (Gayathri e Nair, 2017). Apesar disso, a redução da atividade da PME (Fig. 9A) não teve efeito na ação da enzima PG, que teve incremento de atividade nos frutos controle nos dois primeiros dias de armazenamento (Fig. 8B). Nota-se que houve uma relação entre o amaciamento dos frutos (Fig. 2B) e a atividade da PG (Fig. 9B), pois entre o segundo e o quarto dia de armazenamento foi observado a redução de 33% na firmeza dos frutos controle, que coincide com o período onde a PG teve maior atividade. A PG desempenha um papel fundamental na dissolução da pectina e no desmembramento da parede celular. Esta enzima hidrolítica, age sobre o ácido poligalacturônico e hidrolisa as ligações α -1,4-glicosídicas entre os resíduos de ácido galacturônico em galacturonanos (Gayathri e Nair, 2017). As baixas concentrações de O₂ e altas concentrações CO₂ promovidas pelos recobrimentos com HPMC e 10% e 20% CA restringiram a atividade da enzima PG nos frutos, mantendo durante oito dias de armazenamento a atividade dessa enzima inferior a observada nos frutos controle (Fig. 9B). Esse comportamento da enzima PG nos frutos com HPMC e 10% e 20% CA pode ser confirmado pela manutenção da textura dos frutos (Fig. 2B).

Nota-se que o pico climatérico (Fig. 3B) influenciou negativamente na atividade das enzimas PME e PG entre o sexto e oitavo dia de armazenamento (Fig.

9A e 9B) e que a atividade das enzimas PME e PG não aumentaram durante o amadurecimento como descrito por Gill (2015) em outras cultivares de goiabas.

3.8 Álcool desidrogenase

Durante o armazenamento refrigerado foi verificado o aumento da atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH) nas goiabas 'Pedro Sato' (Fig. 10). A estrutura anatômica e a morfologia dos frutos podem influenciar a atividade da enzima ADH, pois influenciam na permeabilidade dos frutos e, portanto, na disponibilidade de oxigênio (Porat e Fallik, 2008). No processo de maturação dos frutos é natural ocorrer, em baixas concentrações, o acúmulo de acetaldeído (ação da piruvato descarboxilase) e de etanol (ação da ADH), pois estes compostos desempenham um papel fundamental na formação e na composição do aroma dos frutos (Porat e Fallik, 2008). As ADHs contribuem para a biossíntese do aroma das frutas pela interconversão de aldeídos e álcoois, e os álcoois servem de substratos para produção de ésteres importantes na formação do aroma característico dos frutos (Whitaker, 2008).

Nos frutos controle a atividade da enzima ADH foi crescente nos seis primeiros dias de armazenamento. No sexto dia, observou-se a maior atividade da enzima ADH, que coincidiu com o pico climatérico dos frutos (Fig. 3B) e demonstra uma possível relação entre o etileno e a respiração anaeróbia. Contudo, os frutos recobertos com HPMC+10% CA apresentaram maior atividade da ADH que os outros tratamentos durante os oito dias armazenamento (Fig. 10), indicando que o recobrimento formado no epicarpo dos frutos limitou internamente o O₂ disponível de tal forma que induziu a fermentação dos frutos e pode ter levado à produção de odores e sabores indesejáveis (Benítez et al., 2014). Além disso, o bloqueio excessivo da atividade de enzimas como ADH impede que os frutos desenvolvam o seu aroma natural.

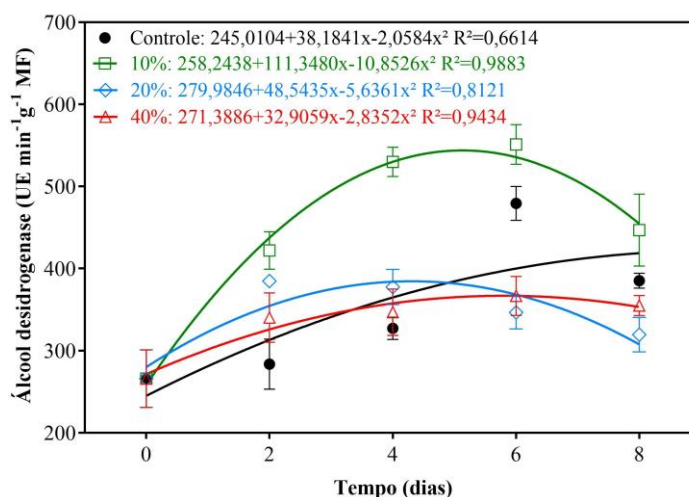


Figura 10. Efeito de recobrimentos a base de hidroxipropil metil celulose (HPMC) e cera de abelha (CA) na atividade da enzima Álcool desidrogenase de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas durante oito dias a 22°C e 65% UR). 10% = HPMC+10% CA; 20% = HPMC+20% CA; 40% = HPMC+40% CA.

4. Conclusões

Recobrimentos a base de HPMC e cera de abelha associados a pequenas concentrações de glicerina (plastificante) e ácido esteárico (emulsificante) foram eficazes na conservação e estenderam a vida útil de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas a 22 °C.

As goiabas revestidas mantiveram-se mais firmes, mais verdes e mais túrgidas durante os oito dias de armazenamento.

A adição de cera de abelha mostrou-se eficaz até a concentração de 20%, tornando o recobrimento melhor em relação a sua propriedade de barreira aos gases O₂ e CO₂.

O tratamento com HPMC+20 %CA reduziu a taxa respiratória dos frutos e inibiu a síntese de etileno sem provocar a fermentação dos frutos, e assim, apresentou os melhores resultados na manutenção da qualidade dos frutos, aumentando em ao menos seis dias, o tempo de conservação das goiabas cv. Pedro Sato.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à Val Frutas por ter cedido os frutos e à Colorcon do Brasil pelo HPMC utilizados neste experimento.

6. Referências

Abreu JR, Donizete C, Maria C, Abreu P, Carla A, Pinheiro M, Corrêa AD (2012) Ripening pattern of guava cv. Pedro Sato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 32: 344–350. a.

Abreu JR, Santos CD, Abreu MCP, Castro EM (2012) Histochemistry and morphoanatomy study on guava fruit during ripening. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 32: 179–186. b.

Azzolini M, Jacomino AP, Bron IU (2004) Índices Para Avaliar Qualidade Pós-Colheita De Goiabas Em Diferentes Estádios De Maturação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** 39: 139–145.

Azzolini M, Jacomino AP, Bron IU, Kluge RA, Schiavinato MA (2005) Ripening of “Pedro Sato” guava: Study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 17: 299–306.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress LTDA. Disponível em: <<https://www.agroestat.com.br>>

Beaudry RM (2000) Responses of Horticultural Commodities to Low Oxygen: Modified Atmosphere Packaging. **HortTechnology** 10: 491–500.

Benítez S, Soro L, Achaerandio I, Sepulcre F, Pujolá M (2014) Combined effect of a low permeable film and edible coatings or calcium dips on the quality of fresh-cut pineapple. **Journal of Food Process Engineering** 37: 91–99.

Bobbio PA, Bobbio FO (2 ed.) (1992) Química do processamento de alimentos. São

Paulo: Varela LTDA, 143p.

Botelho LNS, Rocha DA, Braga MA, Silva A, Abreu CMP (2016) Quality of guava cv. 'Pedro Sato' treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae** 209: 214–220.

Brackmann A, Anese RO, Both V, Thewes FR, Fronza D (2012) Atmosfera controlada para o armazenamento de goiaba cultivar "Paluma". **Revista Ceres** 59: 151–156.

Braga MA, Marques TR, Simão AA, Botelho NLS, Oliveira LS, Abreu MCP (2018) Mechanism of firmness loss in guava cv. Pedro Sato during ripening at room temperature. **Food Science and Technology** 38: 26–32.

Campos AJ, Fujita É, Moraes MR, Neves LC, Vieites RL, Chagas EA (2011) Conservação de goiabas 'Pedro Sato' minimamente processadas e irradiadas. **Rev. Agro@Mambiente on-Line** 5: 66–74.

Cerqueira TS, Jacomino AP, Sasaki FF, Alleoni ACC (2011) Recobrimento de goiabas com filmes proteicos e de quitosana. **Bragantia** 70: 216–221.

Chitarra MIF, Chitarra AB (2 ed.) (2005) Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA, 785 p.

Chitravathi K, Chauhan OP, Raju PS (2014) Postharvest shelf-life extension of green chillies (*Capsicum annuum* L.) using shellac-based edible surface coatings. **Postharvest Biology and Technology** 92: 146–148.

Costa FB (2009) **Fisiologia e conservação de cultivares de morangos inteiros e minimamente processados**. 125 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

Fagundes C, Carciofi BAM, Monteiro, AR (2013) Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. **Food Science and Technology** 33: 60–67.

Fernández-Trujillo JP, Nock JF, Watkins CB (1999) Fermentative metabolism and organic acid concentrations in fruit of selected strawberry cultivars with different

tolerances to carbon dioxide. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 124: 696–701.

García-Betanzos CI, Hernández-Sánchez H, Bernal-Couoh TF, Quintanar-Guerrero D, Zambrano-Zaragoza ML (2017) Physicochemical, total phenols and pectin methylesterase changes on quality maintenance on guava fruit (*Psidium guajava* L.) coated with candeuba wax solid lipid nanoparticles-xanthan gum. **Food Research International** 101: 218–227.

Gayathri T, Nair AS (2017) Biochemical analysis and activity profiling of fruit ripening enzymes in banana cultivars from Kerala. **Journal of Food Measurement and Characterization** 11: 1274–1283.

Gill KS (2015) Guavas. **Encyclopedia of Food and Health** 270–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00363-9>

Gill KS, Dhaliwal HS, Mahajan BVC, Paliyath G, Boora RS (2016) Enhancing postharvest shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda by pre-harvest application of hexanal containing aqueous formulation. **Postharvest Biology and Technology** 112: 224–232.

Giovannoni J, Nguyen C, Ampofo B, Zhong S, Fei Z (2017) The Epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening. **Annual Review of Plant Biology** 68: 61–84.

Gomez MLP, Lajolo FM (2008) Ascorbic acid metabolism in fruits: activity of enzymes involved in synthesis and degradation during ripening in mango and guava. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 88: 756–762.

Gonçalves BJ, Márcio T, Giarola DO, Resende JV (2016) Using infrared thermography to evaluate the injuries of cold-stored guava. **Food Science and Technology** 53: 1063–1070.

Gross KG (1982) A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2-cyanoacetamide. **HortScience** 17: 933-934.

Haida KS, Haas J, Mello SAM, Haida KS, Abrão RM, Sahd R (2015) Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante de Goiaba (*Psidium guajava* L.) Fresca e

Congelada. **Revista Fitos** 9: 37–44.

Heaton JW, Marangoni AG (1996) Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science and Technology** 7: 8–15.

Hong K, Xie J, Zhang L, Sun D, Gong D (2012) Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae** 144: 172–178.

Hörtensteiner S (2006) Chlorophyll Degradation During Senescence. **Annual Review of Plant Biology** 57: 55–77.

Jain N, Dhawan K, Malhotra SP, Siddiqui S, Singh R (2001) Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. **Acta Physiologiae Plantarum** 23: 357–362.

Ke D, Yahia E, Mateos M, Kader AA (1994) Ethanolic Fermentation of 'Bartlett' Pears as Influenced by Ripening Stage and Atmospheric Composition. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 119: 976–982.

Khaliq G, Mohamed MTM, Ali A, Ding P, Ghazali HM (2015) Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae** 190:187–194.

Klangmuang P, Sothornvit R (2016) Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. **LWT - Food Science and Technology** 65: 222–227.

Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology** 148: 350–382.

Linhares LA, Santos CD, Abreu CMP, Corrêa AD (2007) Transformações químicas, físicas e enzimáticas de goiabas 'Pedro Sato' tratadas na pós-colheita com cloreto de cálcio e 1-metilciclopropeno e armazenadas sob refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 829–841.

Luvielmo MM, Lamas SV (2012) Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia** 8: 8–15.

Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Marcotte M (2008) Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. **International Journal of Food Science and Technology** 43: 951–957.

Mattiuz B, Durigan JF (2001) Efeito de injúrias mecânicas no processo respiratório e nos parâmetros químicos de goiabas “Paluma” e “Pedro Sato”. **Revista Brasileira de Fruticultura** 23: 282–287.

McGuire RG, Hallman GJ (1995) Coating guavas with cellulose- or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening. **HortScience** 30: 294–295.

Nair MS, Saxena A, Kaur C (2018) Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry** 240: 245–252.

Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago MB (2011) Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology** 44: 2328–2334.

Nogata Y, Ohta H, Voragen AGJ (1993) Polygalacturonase in strawberry fruit. **Phytochemistry** 34: 617–620.

Novillo P, Salvador A, Magalhaes T, Besada C (2014) Deastringency treatment with CO₂ induces oxidative stress in persimmon fruit. **Postharvest Biology and Technology** 92: 16-22.

Oliveira VRL, Santos FKG, Leite RHL, Aroucha EMM, Silva KNO (2018) Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry** 259: 55–64.

Pereira T, Carlos LA, Oliveira JG, Monteiro AR (2005) Características físicas e químicas de goiaba cv. Cortibel (*Psidium guajava*) estocadas sob refrigeração em filmes X-Tend. **Alimentos e Nutrição** 16: 11–16.

Porat R, Fallik E (2008) Production of off-flavours in fruit and vegetables under fermentative conditions. In: Brückner B, Wyllie SG (1 ed.) **Fruit and Vegetable Flavour: Recent Advances and Future Prospects**. Woodhead Publishing Limited, p. 336.

Ryan JJ, Dupont JÁ (1973) Identification and Analysis of the Major Acids from Fruit Juices and Wines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 21: 45–49.

Salvador A, Arnal L, Besada C, Larrea V, Quiles A, Pérez-Munuera I (2007) Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. “Rojo Brillante”. **Postharvest Biology and Technology** 46: 181–188.

Sothornvit R (2009) Effect of hydroxypropyl methylcellulose and lipid on mechanical properties and water vapor permeability of coated paper. **Food Research International** 42: 307–311.

Vasconcelos NM, Pinto GAS, Aragão FAZ (2013) Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

Vicente AR, Costa ML, Martínez GA, Chaves AR, Civello P (2005) Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology** 38: 213–222.

Villalobos R, Chanona J, Hernández P, Gutieérrez G, Chiralt A (2005) Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. **Food Hydrocolloids** 19: 53–61.

Villarreal NM, Rosli HG, Martínez GA, Civello PM (2008) Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology** 47: 141–150.

Vishwasrao C, Ananthanarayan L (2016) Postharvest shelf-life extension of pink guavas (*Psidium guajava* L.) using HPMC-based edible surface coatings. **Journal of Food Science and Technology** 53: 1966–1974.

Von Elbe JH (1996) Colorants, in: Fennema, O.R. (3 ed.) **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, Inc, p. 1262.

Waterhouse A (2006) **Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine**. Disponível em: <<http://waterhouse.ucdavis.edu/faqs/foolin-ciocalteau-micro-method-for-total-phenol-in-wine>>. Acesso em: 11 ago. 2014.

Whitaker BD (2008) Postharvest flavor deployment and degradation in fruits and vegetables. In: Brückner B, Wyllie SG (1 ed.) **Fruit and Vegetable Flavour: Recent Advances and Future Prospects**. Woodhead Publishing Limited, p. 336.

Wyrwa J, Barska A (2017) Innovations in the food packaging market: active packaging. **European Food Research and Technology** 243: 1681–1692.

Yemm EW, Willis AJ (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal** 57: 508–514.

Zambrano-Zaragoza ML, Mercado-Silva E, Ramirez-Zamorano P, Cornejo-Villegas MA, Gutiérrez-Cortez E, Quintanar-Guerrero D (2013) Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. **Food Research International** 51: 946–953.

Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P (4 ed.) (2008) Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p.

Zhao Y (2018) Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. **Reference Module in Food Science**, 1–5.