



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MARÍLIA LEAL DA CUNHA

**USO DE UM REVESTIMENTO COMESTÍVEL ANTIOXIDANTE COM EXTRATO
DE RESÍDUO DE PRACAXI (*PENTACLETHRA MACROLOBA*) NA
CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA ACEROLA (*MALPIGHIA EMARGINATA*
DC)**

BELÉM-PA
2019

MARÍLIA LEAL DA CUNHA

**USO DE UM REVESTIMENTO COMESTÍVEL ANTIOXIDANTE COM EXTRATO
DE RESÍDUO DE PRACAXI (*PENTACLETHRA MACROLOBA*) NA
CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA ACEROLA (*MALPIGHIA EMARGINATA*
DC)**

Dissertação IV, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nádia Cristina Fernandes Corrêa.

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Vanessa Albres Botelho.

BELÉM-PA
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

L433u Leal da Cunha, Marília
Uso de um revestimento comestível antioxidante com extrato de resíduo de pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) na conservação pós-colheita da acerola (*Malpighia emarginata* DC) / Marília Leal da Cunha. — 2019.
80 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa
Coorientação: Prof^a. Dra. Vanessa Albres Botelho
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Revestimento comestível. 2. Resíduo de oleaginosa. 3.
Fruto tropical. 4. Tempo de vida de frutos. 5. Cera de
carnaúba. I. Título.

CDD 664.028



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS - PPGCTA

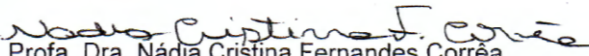
FICHA DE AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO II

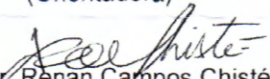
Título: "USO DE UM REVESTIMENTO COMESTÍVEL BIOATIVO COM EXTRATO POLIFENÓLICO DE RESÍDUO DE PRACAXI NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA ACEROLA"

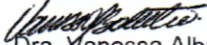
Aluna: MARÍLIA LEAL DA CUNHA

Orientadora: Profa. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa

Banca Examinadora:


Profa. Dra. Nádia Cristina Fernandes Corrêa
(Orientadora)


Prof. Dr. Renan Campos Chisté
(Membro Interno)


Profa. Dra. Yanessa Albres Botelho
(Membro Externo)

Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes
(Membro Suplente)

Data: 27/03/2019

APROVADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROVADO <input type="checkbox"/>	APROVADO COM RESTRIÇÕES <input type="checkbox"/>
ESPAÇO PARA NOTA: 9,0		NOTA <u>Exc.</u>

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por ter me permitido cumprir mais uma etapa dessa jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo suporte financeiro através de bolsa de estudo e pela oportunidade de realização do mestrado.

A minha orientadora, Prof^ª Dr^ª Nádia Corrêa por ter acreditado em minha pesquisa e me dado a oportunidade de trabalhar com um assunto que me encantou.

A minha co-orientadora e segunda mãe, Prof^ª Dr^ª Vanessa Albres, que abriu suas portas e me acolheu desde o TCC e me acompanhou e guiou durante toda a complexa jornada do mestrado, sendo uma enorme referência como profissional sem igual e como verdadeira amiga.

Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Renan Chisté e Prof. Dr. Cândido Neto por serem sempre acessíveis e pelos momentos de orientação, suporte e correção deste trabalho que foram fundamentais para a realização deste estudo.

Ao Sr. Luiz Morais por ter me cedido tão gentilmente minhas amostras diretamente de sua fábrica e sempre ter me apoiado em minha pesquisa, desde o TCC.

Aos meus professores do mestrado e a todos os demais profissionais que contribuíram para que eu pudesse realizar meus experimentos e estudos.

Aos meus colegas do mestrado, em especial a Daniela Gaspar por ter sido minha companheira nos estudos e uma amiga para a vida toda.

Aos meus colegas de laboratório, em especial ao Tomaz Freitas por todo apoio e amizade e ao André Freire por ter sido meu braço direito na realização dos experimentos - por me suportar quando eles davam errado e celebrar comigo quando davam certo.

A minha família, que me apoiou ao percorrer este sonho, em especial ao meu pai por sempre ter cativado em mim o amor pela ciência e me dado todo o apoio.

Aos amores da minha vida, Lia e Camila por serem as melhores amigas em todas as horas e João Luiz por todo amor e paciência sempre.

RESUMO

A curta vida de prateleira de diversas frutas é uma desvantagem considerável ao longo das cadeias de distribuição e causa grandes perdas na produção e exportação de alimentos para vários países. A embalagem é uma parte essencial no processo de redução destas perdas. Cada vez mais, filmes e revestimentos comestíveis estão sendo desenvolvidos para aumentar a segurança e a qualidade de alimentos altamente perecíveis após a colheita. Revestimentos comestíveis são camadas finas de materiais aplicados em produtos alimentícios capazes de criar uma barreira protetora contra danos mecânicos, deterioração física, química e microbiológica. Revestimentos comestíveis bioativos, são embalagens comestíveis incorporadas com compostos bioativos capazes de prolongar a vida útil, a qualidade nutricional e aceitação dos alimentos pelos consumidores. A fim de buscar uma alternativa para prolongar o curto tempo de vida de frutos de acerola (*Malpighia emarginata* DC) – uma espécie de grande importância econômica para o Brasil – e uma forma de reaproveitar do resíduo da prensagem de sementes de pracaxi (*Pentachletra macroloba* (Wiild.) Kuntze) – matéria-prima rica em compostos fenólicos e produzida em larga escala na Amazônia – o objetivo deste trabalho foi desenvolver e analisar a eficiência de um revestimento bioativo à base de cera de carnaúba, pectina, glicerina vegetal e extrato da torta de pracaxi, na vida de prateleira de frutos de acerola. Este revestimento foi aplicado nos frutos por imersão e os frutos foram armazenados em condições refrigeradas (4 ± 2 ° C) e em temperatura ambiente (30 ± 1 ° C, 80% UR). Os tratamentos controle foram: acerola sem revestimento (GO) e acerolas com revestimento, mas sem o extrato do resíduo de pracaxi (GA). Mudanças na cor, pH, sólidos solúveis totais (° Brix), peso, teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos, carotenoides e antocianinas foram monitorados durante 13 e 6 dias para frutos armazenados em condições refrigeradas e em temperatura ambiente, respectivamente. Revestimentos bioativos com extrato da torta de pracaxi (GP) demonstraram ter atividade antioxidante até o final do período de armazenamento e foram eficazes em prolongar a qualidade dos frutos por 3 e 7 dias a mais do que as amostras controle (GO) em condições de refrigeração e ambiente, respectivamente. Os tratamentos GP reduziram significativamente a perda de peso, mantendo 84% e 77% do peso original para as condições ambiente e refrigerada, e conservaram a cor dos frutos até o final dos experimentos. O revestimento bioativo também reteve os maiores níveis de ácido ascórbico (65,5% e 92% dos valores iniciais para as condições ambiente e refrigerada, respectivamente) e preservou os maiores teores de carotenoides e compostos fenólicos, incluindo antocianinas até os últimos dias de armazenamento. Este revestimento se mostrou uma alternativa promissora, acessível e de fácil aplicação para a preservação da qualidade e prolongamento da vida útil da acerola, tanto para o armazenamento em condições refrigeradas quanto em temperatura ambiente.

Palavras chave: Revestimento comestível, resíduo de oleaginosa, fruto tropical, tempo de vida de frutos, cera de carnauba.

ABSTRACT

Fruit short shelf-life is a considerable drawback concerning distribution chains, causing great losses in the production and exportation for several countries. Packaging is an essential part of a long-term process to reduce losses. Edible films and coatings are being increasingly developed to enhance highly perishable products safety and quality after harvest. These coatings are thin layers of materials applied on food products that are able to create a protective barrier against mechanical damage, physical, chemical and microbiological spoilage. Bioactive edible coatings, are edible packaging incorporated with bioactive compounds to produce new functional foods, enhancing its shelf life, nutritional quality and increasing consumer acceptance of these commodities. In order to seek an alternative to prolong the short shelf life of acerola fruit (*Malpighia emarginata* DC) - a species of great economic importance for Brazil, and a way of reusing the residue of the pracaxi seed pressing (*Pentachletra maculosa* (Willd.) Kuntze) - a raw material rich in phenolic compounds - the objective of this work was to develop and analyze the efficiency of a bioactive coating based on carnauba wax, citric pectin, vegetable glycerin and pracaxi cake extract, on the shelf life of acerola fruits. This coating was applied on fruit by immersion, and fruits were stored at refrigerated (4 ± 2 °C) and room (30 ± 1 °C, 80% RH) conditions. Control treatments were acerola fruit without coating (GO) and acerolas with coating but without pracaxi residue extract (GA). Changes in color, pH, total soluble solids (°Brix), weight loss, ascorbic acid, phenolics content, carotenoid and anthocyanin content were monitored during 13 and 6 days for fruit stored at refrigerated and room conditions respectively. Bioactive coatings with pracaxi (GP) demonstrated to have antioxidant activity until the end of the storage period and was effective in prolonging fruit quality for 3 and 7 days longer than control samples (GO) at room and refrigerated conditions, respectively. GP treatments significantly reduced weight loss, maintaining 84% and 77% of the original weight for room and refrigerated conditions, and preserved fruit color until the end of the experiments. The bioactive coating also retained the highest ascorbic acid levels (65.5% and 92% of the initial values for room and refrigerated conditions, respectively) and preserved the highest levels of carotenoids and phenolic compounds, including anthocyanins until the last days of storage. This bioactive coating is a promising, easy and cheap alternative for preservation of quality and shelf life prolongation of acerola fruit stored at refrigerated and room conditions.

Keywords: Edible coating, oilseed residue, tropical fruit, shelf-life, carnauba wax.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Acerola em vários estádios de maturação. (A) estágio imaturo (verde); (B) estágio intermediário (laranja ou laranja-vermelho); (C) estágio maduro (vermelho). Fonte: Delva e Schneider (2013).....	16
Figura 2: Estrutura de compostos bioativos presentes em frutos de acerola. (a) Antocianinas; (b) Carotenoides (β -caroteno). Fonte: (Vendramini and Trugo 2004), Delva and Schneider (2013) adaptado.	20
Figura 3: Revestimento comestível visualizado como uma matriz encapsulante capaz de oferecer proteção a a) antioxidantes, b) probióticos, c) componentes antimicrobianos e d) componentes de <i>flavor</i> contra condições adversas como luz UV, aquecimento, umidade e gases. Fonte: Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala et al. (2014), adaptado.....	26
Figura 4: Sementes de pracaxi <i>in natura</i> (a) e Torta de pracaxi (b).....	28
Figura 5: a) Pectina e b) cera de carnaúba tipo 3.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valor nutricional da fruta de acerola.	17
Tabela 2: Revestimentos comestíveis utilizados na preservação de frutos de acerola	25
Tabela 3: Uso de compostos bioativos em revestimentos comestíveis para estender a vida de prateleira de diferentes frutas.	27

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Por cento ou porcentagem
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ATT	Acidez Total Titulável
cm	Centímetros
CO₂	Gás Carbônico
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
g	Gramas
h	Hora
kg	Quilogramas
L	Litro
m	Metros
m/v	Massa/Volume
mgEAG /100 g	Miligramas Equivalente de Ácido Gálico por 100 gramas
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
O₂	Oxigênio
°C	Graus Celsius
PA	Pará
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Cloreto de Polivinilo
s	Segundos
SST	Sólidos Solúveis Totais
TEAC	Atividade antioxidante Equivalente ao Trólox
UR	Umidade Relativa
US \$	Dólares Americanos
µg	Microgramas
v/v	Volume/Volume
µL	Microlitro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Perdas pós-colheita em produtos agrícolas – Frutas tropicais	14
2.2 A cultura da acerola	15
2.2.1 Propriedades nutricionais e físico-químicas dos frutos de acerola	16
2.2.2 Compostos bioativos presentes em frutos de acerola	19
2.3 Pós-colheita da acerola	21
2.4 Revestimentos Comestíveis	22
2.4.1 Matrizes Estruturais	23
2.4.1.1 Hidrocolóides (proteínas e polissacarídeos)	23
2.4.1.2 Lipídios	24
2.4.1.3 Matrizes Multicomponentes	24
2.5 Revestimentos bioativos	26
2.6 Reaproveitamento de subprodutos agroindustriais – Resíduo de pracaxi	28
2.7 Revestimento bioativo para frutos de acerola	29
2.7.1 Cera de Carnaúba	30
2.7.2 Pectina	31
2.7.3 Glicerol	32
3. OBJETIVOS	33
3.1 Geral	33
3.2 Específicos	33
4. RESULTADOS	34
4.1 ARTIGO: Effects of a bioactive coating incorporated with pracaxi (<i>pentaclethra macroloba</i> (wiild.) kuntze) residue extract on the post-harvest quality of acerola fruit (<i>malpighia emarginata</i> dc)	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos, vários países produtores sofrem graves perdas na pós-colheita de frutas e vegetais (Kumar and Kalita 2017, FAO 2018, Faqeerzada, Rahman et al. 2018). Um estudo conduzido por Chien, Sheu et al. (2007) estimou que até 80% da qualidade de frutas frescas comercializadas é perdida entre a produção agrícola e o consumidor final. No Brasil, o maior produtor mundial de frutas tropicais (FAO 2018), as perdas pós-colheita de produtos agrícolas totalizaram cerca de US \$ 19,4 bilhões em 2012, não incluindo o impacto no mercado de bens e serviços resultantes destes danos (Pinto and Jacomino 2013, Costa, Guilhoto et al. 2015).

As causas de perdas em frutos pós-colheita são fisiológicas, fitopatológicas e por danos mecânicos (Falguera, Quintero et al. 2011, Kumar and Kalita 2017, Verma, Plaisier et al. 2019). Muitas frutas tropicais começam a deteriorar-se imediatamente após a colheita, apresentando alta taxa de respiração, aumento da produção de etileno e susceptibilidade a diversos patógenos (Silva, Rashid et al. 2007, Hong, Xie et al. 2012, Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017).

Frutas tropicais como a acerola (*Malpighia emarginata* DC) – espécie de grande importância econômica para o Brasil (Marques, Ferreira et al., 2007; de Freitas, Maia et al., 2014) – tem atraído o interesse dos consumidores em todo o mundo devido ao seu sabor, seu alto teor de vitamina C e suas propriedades antioxidantes (Nogueira, de Moraes et al., 2002; Maria do Socorro et al., 2010). No entanto, poucas horas após a colheita, estes frutos começam a perder grandes quantidades de água e vitamina C, além de serem suscetíveis a diversos patógenos (Alves, Chitarra et al., 1993; Almeida, Araújo et al., 2003) e propensos a mudanças na textura, cor e sabor da casca e da polpa durante o transporte, manuseio e armazenamento. Estes fatores limitam a vida-útil dos frutos a 2-3 dias em temperatura ambiente (Vendramini e Trugo 2000; Delva e Schneider 2013), gerando até 40% de perdas ao longo de sua cadeia produtiva (de Freitas, Maia et al., 2014; Quoc, Hoa et al., 2016).

As perdas de frutas e hortaliças em quase todas as etapas da cadeia produtiva podem ser reduzidas pelo uso de embalagens apropriadas (Gustavsson, Cederberg et al. 2011). Por esta razão, a indústria de alimentos tem buscado investir no desenvolvimento de novos filmes e revestimentos comestíveis para frutas e legumes, constituídos por materiais biodegradáveis (Cerqueira, Lima et al. 2009, Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017).

Revestimentos comestíveis são definidos como uma fina camada de material comestível aplicado sobre a superfície de um alimento. Sua constituição pode incluir polissacarídeos, proteínas, lipídios e aditivos alimentares ou misturas desses componentes (Falguera, Quintero et al. 2011, Silva-Weiss, Ihl et al. 2013). Estes revestimentos criam uma atmosfera modificada nas superfícies de alimentos *in natura* ou minimamente processados, agindo como uma barreira contra vapores, óleos, solutos e danos físicos, evitando desidratação, deterioração microbiana, escurecimento superficial, rancidez oxidativa e preservando a integridade dos produtos por mais tempo, tanto quanto possível (Abbasi, Iqbal et al. 2009, Campos, Gerschenson et al. 2011, Salgado, Ortiz et al. 2015).

Além disso, estas embalagens são capazes de aprimorar a segurança alimentar, devido à sua atividade biocida natural ou através da incorporação de compostos bioativos, antimicrobianos e antioxidantes nas matrizes estruturais (Rojas-Graü, Oms-Oliu et al. 2009, Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala et al. 2014). Estes compostos podem ser provenientes de uma vasta gama de espécies naturais ou dos resíduos gerados no beneficiamento destas, à exemplo da torta da prensagem de oleaginosas amazônicas como o pracaxi (*Pentaclethra macroloba*). Estes resíduos podem ser ricas fontes de compostos bioativos - como os compostos fenólicos - que poderiam ser utilizados como aditivos naturais de alimentos, devido à suas propriedades antioxidantes e quimioprotetoras (Laufenberg, Kunz et al. 2003, Balasundram, Sundram et al. 2006, Melo, Bergamaschi et al. 2011). Adicionalmente, o reaproveitamento de resíduos como este agregaria valor a subprodutos agroindustriais, ao transformar um material antes descartado em larga escala em ingrediente de grande valor. (Maier, Schieber et al. 2009, Babbar, Oberoi et al. 2015, Gomes and Torres 2016).

Ao longo dos últimos anos, vários artigos e análises sobre o uso de filmes e revestimentos comestíveis foram publicados - concentrando-se principalmente em frutas de climas temperados - e provaram sua eficiência. (Li and Yu 2001, Han, Zhao et al. 2004, Hernandez-Munoz, Almenar et al. 2008, Falguera, Quintero et al. 2011, Jianglian and Shaoying 2013, Chiumarelli and Hubinger 2014, Galus and Kadzińska 2015, Kerch 2015). No entanto, até então, nenhum estudo voltado para o uso de revestimentos *antioxidantes* em frutos de acerola foi encontrado. Desta forma, neste estudo, será analisado de que maneira um revestimento comestível bioativo influencia na conservação de frutos de acerola – tanto em armazenamento sob refrigeração quanto em temperatura ambiente, avaliando a alteração das características físicas e físico-químicas dos frutos ao longo do tempo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Perdas pós-colheita em produtos agrícolas – Frutas tropicais

Frutas e vegetais permanecem vivos e com atividade respiratória após a colheita. No entanto, à parte de suas fontes de nutrientes e água, estes se tornam suscetíveis a uma rápida deterioração. Isto, somado às longas distâncias em geral percorridas para a comercialização destes, tem causado enormes perdas para diversos países produtores (Alves, de Brito et al. 2008, Pinto and Jacomino 2013) Os principais fatores responsáveis por esta deterioração e perda são agrupados entre os causados por danos mecânicos, por danos fisiológicos e por ataque de fitopatógenos (Miller and Krochta 1997, Falguera, Quintero et al. 2011).

No que diz respeito a frutas tropicais, muitas começam a apresentar danos fisiológicos imediatamente após a colheita por conta das altas taxas de respiração, aumento da produção de etileno e perda de água por transpiração características destes frutos. Este processo ocorre ao longo do amadurecimento e é acompanhado pelo amaciamento, mudanças na textura da casca e polpa, cor, textura, sabor e qualidade nutricional, levando a uma curta vida útil e a uma reduzida aceitação sensorial (Silva, Rashid et al. 2007, Hong, Xie et al. 2012, Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017). Estes são os resultados das respostas dos frutos a vários estresses abióticos, incluindo variações na temperatura, umidade relativa (UR), níveis de etileno, composição atmosférica (concentrações de oxigênio, dióxido de carbono e outros gases) e radiações (Pedreschi and Lurie 2015).

Muito da produção de frutas tropicais também se perde por conta de danos físicos causados pelo manuseio e transporte. O dano mecânico às frutas é principalmente infligido durante operações de colheita no campo, mas também ocorre em linhas de classificação e embalagem, durante o transporte, e em manuseio ao final da cadeia produtiva, por exemplo, durante a exibição e seleção de produtos por varejistas e consumidores (Ruiz-Altisent 1996, Li, Yang et al. 2013, Li and Thomas 2014). Muitas frutas com aparentemente pequenos danos físicos, ainda que continuem próprias para consumo, são muitas vezes descartadas, causando perdas de até 51% entre colheita e consumo (Barbosa-Cánovas 2003). Os danos mecânicos podem ser causados por impacto, compressão, abrasão, perfuração, ou várias ações combinadas (Pantastico 1979, Van Zeebroeck, Ramon et al. 2007, Li, Yang et al. 2013). Tais danos, porém, podem ser irreparáveis aos produtos, aumentando sua susceptibilidade à decomposição e ao

crescimento de micro-organismos, bem como acarretando reações bioquímicas que causarão senescência e modificações físicas e nutricionais, reduzindo-lhes a vida útil e provocando uma consequente desvalorização comercial. (Fischer, Ferreira et al. 2009, Hendges, Steffens et al. 2011, Tzec, Antonio et al. 2011, Maia, Maia et al. 2015, Yildiz 2017).

Por fim, outros fatores biológicos, como fitopatologias e ataques de insetos e de diversos tipos de fungos, podem também reduzir a qualidade e a vida de prateleira dos frutos. A qualidade e a segurança de produtos frescos dependem da flora microbiológica destes, a qual é afetada em cada etapa percorrida entre o produtor e o consumidor final (Chitarra and Alves 2001, Ploetz 2003, Strawn, Schneider et al. 2011).

2.2 A cultura da acerola

Dentre as frutas tropicais, a acerola (*Malpighia emarginata D.C.*), pelo seu enorme potencial devido ao seu alto teor de vitamina C, a sua cor vermelha atrativa na maturação completa, e a sua atividade antioxidante, tem demonstrado uma inegável capacidade de aproveitamento industrial, atraindo o interesse de fruticultores de várias regiões do Brasil e de consumidores do mundo inteiro (Nogueira, de Moraes et al. 2002, Alves, de Brito et al. 2008).

A Acerola é uma planta originária da América Central que se espalhou para a América do Sul, devido à sua boa adaptação ao solo e ao clima (Johnson 2003). O Brasil, hoje se posiciona como o maior produtor, consumidor e exportador deste fruto no mundo, possuindo plantios comerciais em praticamente todos os estados, com destaque para a região nordestina (Marques, Ferreira et al. 2007, de Freitas, Maia et al. 2014, Moura, Oliveira et al. 2018).

As árvores de acerola podem atingir uma altura média de 3-5 m, com um tronco pequeno e delgado com 0,5-1 m de altura e 7-10 cm de diâmetro. O fruto da aceroleira é uma drupa, carnosa, onde o epicarpo (casca externa) é uma película fina; o mesocarpo é a polpa e o endocarpo é constituído por três caroços unidos, sendo que cada caroço pode conter no seu interior uma semente, com 3 a 5 mm de comprimento, de forma ovoide e com dois cotilédones (Gomes, Dilermando et al. 2000, França and Narain 2003, de Freitas, Maia et al. 2014). Este fruto é pequeno (1-4 cm de diâmetro) e pesa 2-15 g; é verde durante o primeiro estágio de desenvolvimento, mas muda de laranja a vermelho-laranja no estágio intermediário de maturação e torna-se vermelho brilhante na maturação completa (Figura 1) (Porcu and Rodríguez-Amaya 2003). Alves, Chitarra et al. (1993) classificou os estádios de maturação da acerola em 6, variando do 1 – casca verde escura ou frutos imaturos, até o 6 – casca vermelha escura.

Figura 1: Acerola em vários estádios de maturação. (A) estágio imaturo (verde); (B) estágio intermediário (laranja ou laranja-vermelho); (C) estágio maduro (vermelho). Fonte: Delva e Schneider (2013).



A fruta possui um rendimento de polpa entre 69,4% e 92% (Pimentel, MAIA et al. 2001, Braz, Nunes et al. 2005) em relação ao peso do fruto. Cada planta é capaz de produzir, em média, até 100 kg de fruta por ano, com destaque para alguns cultivares brasileiros, como o existente no bairro Área Verde, na cidade de Santarém, no oeste do Pará, que produz até nove safras por ano, produzindo até 206 kg de frutos por árvore no ano (G1, 2013).

Cerca de 90% da produção de acerola vai para o mercado externo, especialmente para o Japão, Europa e Estados Unidos. Os produtos exportados pelo Brasil incluem frutas congeladas, suco, marmelada, concentrado congelado, geleia e licor (Delva and Schneider 2013). As indústrias processadoras de frutas tropicais processam, no Brasil, cerca de 34,40 mil toneladas de acerolas por ano, o que equivale a 7,16% do total de frutas processadas por estas empresas. As acerolas processadas geram, aproximadamente, 18 mil toneladas de sucos e polpas por ano (de Freitas, Maia et al. 2014).

2.2.1 Propriedades nutricionais e físico-químicas dos frutos de acerola

As propriedades físico-químicas da fruta de acerola e seu valor nutricional, dispostas na Tabela 1, dependem de vários fatores, incluindo condições ambientais, localização, práticas culturais, estágio de maturação, processamento e armazenamento. Os principais açúcares em frutos maduros são frutose e glicose, com pequenas quantidades de sacarose. Entretanto, as variedades de acerola mais doces, embora contenham um teor muito menor de vitamina C, tendem a ser mais populares em mercados de frutas frescas e na produção de suco (Righetto, Netto et al. 2005, Mezdri, Fernández-Pachón et al. 2006).

Em termos de vitaminas e minerais, relatórios de várias fontes indicam que o teor de vitamina C da acerola pode variar entre 695 a 4827 mg/100 g de fruta (Vendramini and Trugo 2000, Righetto, Netto et al. 2005, Mezdri, Fernández-Pachón et al. 2006, Corrêa, Gouveia et al. 2017), sendo que o conteúdo de vitamina C é reduzido ao longo do processo de amadurecimento e afetado pela região em que a fruta é cultivada. Além da vitamina C, as vitaminas B6, B2 e B1 também foram relatadas em menor quantidade nos frutos (Johnson 2003). Os principais macrominerais em frutos de acerola incluem fósforo, cálcio e ferro (Tabela 1). O conteúdo dos microminerais destas frutas, como zinco, selênio e cobre, no entanto, ainda não foram bem elucidados.

Tabela 1: Valor nutricional da fruta de acerola.

Nutriente	Conteúdo para 100g da fruta	Autores
Água	90.6–92.4 g	Mezdri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Proteína	0.21–0.80 g	Mezdri, Fernández-Pachón et al. (2006)
	0.90–1.20 g	Vendramini and Trugo (2000)
Gordura	0.23–0.80 g	Mezdri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Carboidrato	3.57–7.80 g	Mezdri, Fernández-Pachón et al. (2006)
	4.30–4.40 g	Vendramini and Trugo (2000)
Frutose	0.25–0.38 g	Righetto, Netto et al. (2005)
Glicose	2.14–3.33 g	Righetto, Netto et al. (2005)
Sacarose	0.02 g	Righetto, Netto et al. (2005)
Vitamina C	970–1900 mg	Righetto, Netto et al. (2005)
	1074–2164 mg	Vendramini and Trugo (2000)

	695–4827 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
	1675.67 - 3175.67 mg	Corrêa, Gouveia et al. (2017)
Vitamina B6	8.70 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Vitamina B2	0.07 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Vitamina B1	0.02 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Fósforo	17.1 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Cálcio	11.7 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Ferro	0.22 mg	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Cinzas	0.40 g	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)
Fibra alimentar	3.00 g	Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006)

Fonte: Delva and Schneider (2013) adaptado.

A vitamina C ascorbato desempenha uma infinidade de papéis nas células vegetais. Um papel majoritário deste composto é a capacidade antioxidante, atuando em reações oxidativas em cadeia, resultando em produtos não oxidativos, como desidroascorbato (DHA) e ácido 2,3-dicetogulônico (Davey, Montagu et al. 2000, Fenech, Amaya et al. 2018). Além disso, o ácido ascórbico possui importância protetora frente a estresses abióticos como calor e luz alta, (Smirnoff 2000, Tyystjärvi 2008, Tóth, Schansker et al. 2013).

Com relação aos valores médios de pH, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de acerolas, segundo diferentes autores, o pH se mostra um parâmetro de baixa variabilidade nos frutos, mesmo maduros, encontrando-se na faixa de 2,58 a 3,91. (LIMA, MUSSER et al. , Musser, Lemos et al. 2004, de Freitas, Maia et al. 2014) Musser, Lemos et al., 2004). Os teores de sólidos solúveis totais (SST) são mais elevados nas acerolas maduras,

porém são reduzidos pela chuva ou irrigação excessiva, em virtude da diluição do suco celular, e variam também de acordo com o genótipo (Nogueira, de Moraes et al. 2002). Analisando os valores obtidos por diversos autores, pode-se observar que as acerolas colhidas em diferentes localidades apresentam teores de SST e ATT com uma ampla faixa de variação, desde 3,76 a 14,10 °Brix para sólidos solúveis e de 0,53 até 2,27 para acidez (Gomes, Dilermando et al. 2000, França and Narain 2003, Braz, Nunes et al. 2005, Herbster Moura, Elesbão Alves et al. 2007).

2.2.2 Compostos bioativos presentes em frutos de acerola

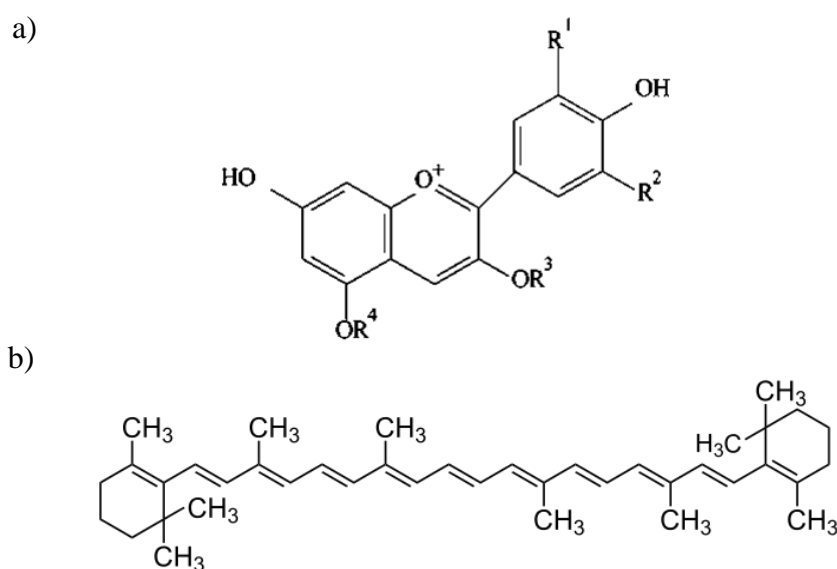
Os compostos bioativos em alimentos são classificados como substâncias extra nutricionais que ocorrem em pequenas quantidades e que oferecem benefícios à saúde além do valor nutricional básico, sendo associados à redução do risco de diversas doenças crônicas (Filgueiras, Wang et al. 2007). Os compostos bioativos são produzidos como metabólitos secundários de plantas e são conhecidos como substâncias que têm efeito em sistemas biológicos por apresentam potencial terapêutico e contribuir para atividades biológicas (Azmir et al., 2013; Singh et al., 2016). Os produtos naturais ricos em compostos bioativos são promissoras fontes para o desenvolvimento de novos medicamentos, alimentos funcionais e aditivos alimentares (Ren et al., 2013; Bitencourt et al., 2014).

Os compostos bioativos incluem compostos fenólicos, carotenoides, compostos nitrogenados e compostos organossulfurados (Munin and Edwards-Levy 2011, Delva and Schneider 2013) Estes são componentes importantes para o metabolismo das plantas e também para os seres humanos devido às suas características ligadas à prevenção de doenças, particularmente relacionadas ao seu poder antioxidante (Balasundram, Sundram et al. 2006). Os compostos fenólicos nos alimentos podem ser categorizados em fenóis simples, ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, lignanos e taninos (Shahidi and Chi-Tang 2007). Nos alimentos, compostos fenólicos podem ocorrer em formas ligadas esterificadas, livres ou insolúveis.

Alguns dos compostos bioativos mais comumente identificados em frutas de acerola compreendem principalmente carotenoides, e antocianinas (Figura 2). Os carotenoides presentes em frutos de acerola abrangem os principais (β -caroteno, β -criptoxantina, luteína e violaxantina) juntamente com outros carotenóides menores (neoxantina, antheraxantina, monocromático, luteoxantina, auroxantina, β -criptoxantina-5,6-epóxido, β -criptoxantina-5,8-epóxido, cis- β -caroteno e cis-luteína).(Mezadri, Pérez-Gálvez et al. 2005) Além dos carotenoides, estão presentes flavonoides como as antocianinas e antocianidinas (Delva and

Schneider 2013), que compreendem a pelargonidina, a malvidina 3,5-diglicosilada e a cianidina 3-glicosilada, bem como outros pigmentos fenólicos não derivados de antocianinas como quercetina, o kaempferol, e os ácidos p-cumárico, ferúlico, cafeico e clorogênico. (Vendramini and Trugo 2004).

Figura 2: Estrutura de compostos bioativos presentes em frutos de acerola. (a) Antocianinas; (b) Carotenoides (β -caroteno). Fonte: (Vendramini and Trugo 2004), Delva and Schneider (2013) adaptado.



Lima, Mélo et al. (2005) encontrou teores de compostos fenólicos totais variando de 536 a 4524 mg equivalentes de catequina (mg CEQ) /100 g em frutos de acerola, sendo que estes teores variaram com o estágio de maturação, os tipos de cultivar, estação de crescimento e processamento. Em relação ao estágio de maturação, a concentração fenólica total tende a diminuir à medida que os frutos amadurecem. Também se verificou que as frutas maduras colhidas na estação seca apresentaram maior conteúdo fenólico total do que aquelas colhidas na estação chuvosa. Mezadri, Fernández-Pachón et al. (2006) encontraram níveis de 896 – 1888 mg CEQ/100g em frutas maduras cultivadas em estação chuvosa, enquanto Righetto, Netto et al. (2005) encontrou 973 – 1060 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g para o suco de frutos maduros e Alves, de Brito et al. (2008) 380 – 1350 mg GAE/100 g de polpa de g frutos maduros. Desta forma, os compostos fenólicos presentes nos frutos exibem valores superiores aos relatados em cascas de uva, morangos, carambolas e laranjas (Mezadri, Villaño et al. 2008).

A mudança de coloração da acerola ao longo da maturação se deve, sobretudo, à degradação da clorofila e à síntese de antocianinas e carotenoides (Porcu and Rodríguez-Amaya 2003). Com relação à antocianina total, quantidades de 6,5-8,4 mg/100 g de polpa de acerola foram relatadas por de Rosso, Hillebrand et al. (2008). A antocianina total no estudo mencionado acima pode ser considerada baixa quando comparada com frutos conhecidos como boas fontes de antocianina. Porém, a pele da acerola demonstrou possuir teores de até 37,5 mg/100g de pele de frutos maduros (Vendramini and Trugo 2004) sendo superior ao encontrado em repolho vermelho (25 mg/100 g), ameixa (2-25 mg/100 g), morangos (15-35 mg/100 g) e brácteas de banana (32 mg/100 g) (Timberlake 1988, Pazmiño-Durán, Giusti et al. 2001).

De Rosso and Mercadante (2005) estudaram a composição de carotenoides de dois genótipos brasileiros de acerola e relataram teores de β -caroteno variando de 265,5-1669,4 μ g/100 g. Em outro experimento, Lima, Mélo et al. (2005) relataram o conteúdo total de carotenoides na fruta de acerola cultivada no Brasil em diferentes estádios de maturação e diferentes condições de clima. Os resultados mostraram que os níveis eram muito baixos em frutos verdes (32-352 μ g) e, em seguida, aumentavam consideravelmente à medida que o fruto amadurecia (75 -589 μ g para frutos parcialmente-maduros e 940-4060 μ g para frutos maduros) - mudanças que refletem a degradação da clorofila com um aumento concomitante de carotenoides (Chitarra and Chitarra 2006). Além disso, um maior nível de carotenoides foi relatado para frutos maduros colhidos na estação chuvosa em comparação com aqueles colhidos na estação seca. Esses dados mostram que o conteúdo de carotenoides também varia de acordo com as condições ambientais, como a safra e estágio de maturação, assim como os polifenóis.

2.3 Pós-colheita da acerola

Além da maturação, o manuseio pós-colheita e as condições de armazenamento podem afetar substancialmente o teor de vitamina C e a vida útil da fruta de acerola. A informação disponível no campo do processamento de acerola, embora escassa, sugere que o conteúdo de vitamina C começa a diminuir cerca de 4 horas após a colheita, sendo que os frutos demonstram rápida perecibilidade (Alves, Chitarra et al. 1993). Isto é provado tendo em vista que apesar da maior parte da produção encontrar-se vinculada ao setor agroindustrial (Coelho, Ritzinger et al. 2003) com vistas ao aproveitamento dos frutos, parte considerável acaba não sendo aproveitada (de Freitas, Maia et al. 2014).

Os frutos da acerola têm alta atividade metabólica após a colheita sendo que o amadurecimento ocorre rapidamente (3-4 semanas após a floração). Consequentemente, os frutos devem ser congelados ou processados o mais rápido possível para serem aproveitados,

uma vez que a fruta madura após a colheita dura apenas 2-3 dias à temperatura ambiente (Vendramini and Trugo 2000, Delva and Schneider 2013), sendo que a vida útil pode aumentar em até mais três dias à temperatura ambiente quando embalados em filme de cloreto de polivinilo (PVC) e em até 7 dias à 8 °C e 85-90% de umidade relativa com embalagem de PVC (Alves, Chitarra et al. 1993).

O comportamento respiratório exibido pela fruta, especialmente nos estágios intermediários e completos de amadurecimento, sugere um comportamento climatérico. De acordo com Carrington and King (2002), o fruto tem uma taxa respiratória muito alta (900 ml de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), mas com um baixo pico de produção de etileno (3 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹). A alta taxa de respiração é considerada parcialmente responsável pela natureza perecível do fruto.

Outro problema enfrentado pelos produtores de acerola é a grande sensibilidade dos frutos maduros durante a colheita, embalagem, processamento e/ou distribuição. A pele do fruto maduro é fina e frágil e, portanto, pode ser facilmente danificada por um impacto muito pequeno. Quando a pele está danificada, a polpa do fruto se deteriora rapidamente e, portanto, a qualidade geral da fruta é afetada (Alves, Chitarra et al. 1993, Ferreira, Fai et al. 2016).

A estabilidade pós-colheita da fruta também é afetada pela radiação solar, sendo que a exposição da fruta à radiação solar por mais de 4 horas após a colheita leva à perda substancial de vitamina C. Portanto, sugere-se que a colheita da fruta seja feita nas primeiras horas da manhã, antes que a luz e a temperatura aumentem ao ponto de ser prejudicial aos frutos maduros (Alves, Filgueiras et al. 1997).

Além desses problemas, a cultura da acerola também está sujeita a diversas patologias fúngicas, destacando-se a antracnose causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) e *C. dematium* que, segundo Alves, Menezes et al. (1995) é a doença mais difundida no Brasil, trazendo podridão aos frutos. Em outras regiões, foram encontrados ataques causados por outros fungos, a exemplo de fungos *Fusarium oxysporum* Schlecht, causando seca rápida de toda planta e levando à morte, *Botryodiplodia theobromae* Pat., que reduz o vigor, e provoca ressecamento da planta (Tavares 1995) e *Rhizopus nigricans* Ehr, causando podridão dos frutos (Almeida, Araújo et al. 2003).

2.4 Revestimentos Comestíveis

Os filmes e os revestimentos comestíveis representam embalagens primárias de alimentos feitas de materiais biodegradáveis (Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017). Revestimentos comestíveis são definidos como uma camada fina de material comestível

aplicado em forma líquida diretamente sobre a superfície de um vegetal por imersão ou pulverização de uma solução formada por uma matriz estrutural. Os filmes, por sua vez, são definidos como uma camada fina de embalagens previamente moldadas como folhas sólidas, que são então aplicadas como um invólucro, envolvendo o alimento (Falguera, Quintero et al. 2011, Silva-Weiss, Ihl et al. 2013).

O uso de revestimentos biodegradáveis em frutas remonta ao século XII na China - onde eram utilizadas ceras para revestir e proteger frutas cítricas - e o século XV no Japão - onde foi criado o primeiro filme comestível, feito de leite de soja (Yuba) para a preservação de alimentos (Cagri, Ustunol et al. 2004). Apesar desses fatos, até 1967, as embalagens comestíveis ainda eram comercialmente irrelevantes (Embuscado and Huber 2009). No entanto, ao longo das últimas décadas, com o avanço da ciência, a indústria global de embalagens e revestimentos de alimentos tem sido cada vez mais pressionada a desenvolver métodos inovadores para manter a qualidade e prolongar a vida útil dos produtos hortifrutícolas, bem como reduzir o uso de embalagens plásticas poluentes. Este processo visa garantir a segurança alimentar, bem como fortalecer o comércio global de alimentos, que é uma chave importante para o desenvolvimento econômico mundial (Olsmats and Wallteg 2009, Gustavsson, Cederberg et al. 2011, Manaliliby and Otterdijk 2011). Desta forma, cada vez mais as empresas têm passado a oferecer esses produtos e hoje, as embalagens comestíveis têm sido utilizadas para uma diversidade de alimentos, com uma receita anual total estimada em US \$ 2,1 bilhões ao final de 2017 e em US \$ 3,3 bilhões até o final de 2027 (FMI, 2017).

2.4.1 Matrizes Estruturais

Revestimentos e filmes comestíveis são geralmente classificados de acordo com os materiais constituintes de sua matriz estrutural. Desta forma, seus principais componentes são os hidrocolóides (proteínas e polissacarídeos) e lipídios ou suas misturas. As características físicas e químicas desses componentes são muito diferentes; portanto, eles devem ser formulados de acordo com as propriedades do produto ao qual devem ser aplicadas (Rojas-Graü, Oms-Oliu et al. 2009, Chiumarelli and Hubinger 2012).

2.4.1.1 Hidrocolóides (proteínas e polissacarídeos)

Os hidrocolóides incluem proteínas de origem vegetal ou animal, como proteínas de soja, glúten de trigo, zeína de milho, proteínas de girassol, gelatina, soro, caseína, queratina e polissacarídeos, como derivados de celulose, amidos, alginatos, pectinas, quitosanas, carrageninas, gomas e fibras (Rojas-Graü, Salvia-Trujillo et al. 2012, Park, Byun et al. 2013).

Ambos os filmes de proteínas e polissacarídeos geralmente exibem propriedades de barreira efetivas contra oxigênio, lipídios e aromas, bem como propriedades mecânicas moderadas. Por outro lado, os polissacarídeos são altamente hidrofílicos, apresentando alta permeabilidade ao vapor de água em comparação com filmes plásticos comerciais (Galus and Kadzińska 2015, Salgado, Ortiz et al. 2015). Além disso, a solubilidade em proteínas é considerada dependente do pH e da temperatura, portanto, esses parâmetros devem ser levados em consideração durante a formulação e aplicação de revestimentos (Vargas, Pastor et al. 2008).

2.4.1.2 Lipídios

Por sua vez, os lipídios comestíveis exibem excelentes propriedades hidrofóbicas e incluem cera de abelha, cera de candelila, cera de carnaúba, triglicerídeos (por exemplo, frações de gordura do leite), monoglicéridos acetilados, ácidos graxos livres, álcoois gordurosos, ésteres de sacarose e resinas de terpeno comestíveis, como as resina provenientes de cascas de árvores (Brody 2011, Kowalczyk and Baraniak 2014). Esses materiais são capazes de criar biomateriais razoavelmente coesos, uma vez que podem ser moldados levando em consideração suas características de temperaturas de transição de fase (Pérez-Gago and Krochta 2005). A principal desvantagem dos revestimentos à base de lipídios são as suas propriedades mecânicas precárias, sendo relativamente inflexíveis e geralmente opacas (Rhim and Shellhammer 2005). Assim, para maximizar a adesão do revestimento ao produto e reduzir a rigidez e a temperatura de transição vítrea destes polímeros, podem ser acrescentadas substâncias tensoativas e plastificantes ricas em grupos hidroxila, tais como glicerol, sorbitol, monoglicéridos acetilados, polietilenoglicol, sacarose e açúcares redutores (Lin and Zhao 2007, Silva-Weiss, Ihl et al. 2013).

2.4.1.3 Matrizes Multicomponentes

Os filmes e revestimentos comestíveis também podem ser criados misturando dois ou mais componentes estruturais, produzindo uma camada homogênea ou uma embalagem em multicamadas, com o objetivo de se aproveitar as melhores características de cada composto e as compatibilidades e sinergias entre eles (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh et al. 2016). Aliando a vantagem da característica hidrofóbica dos revestimentos lipídicos e a capacidade de formar filmes coesos com boas propriedades de permeabilidade a gases e sem textura gordurosa dos polissacarídeos e proteínas, esses componentes podem ser combinados para formar emulsões comestíveis aprimoradas e mais apropriados a cada fruta (Quezada-Gallo, Debeaufort et al. 2000, Galus and Kadzińska 2015, Kowalczyk, Kordowska-Wiater et al. 2017). Os filmes e revestimentos comestíveis também podem incorporar outros componentes, tais como

corantes, *flavors*, nutrientes, especiarias, surfactantes, emulsionantes e plastificantes, bem como agentes antimicrobianos, antioxidantes e modificadores de textura (Osorio, Molina et al. 2011, Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh et al. 2016). A Tabela 2 traz exemplos de revestimentos comestíveis com base em diferentes matrizes estruturais utilizados especificamente na conservação de frutos de acerola.

Tabela 2: Revestimentos comestíveis utilizados na preservação de frutos de acerola

Composição dos revestimentos	Armazenamento da amostra	Resultados	Autores
Biofilme de fécula de mandioca de 1 - 4% (m/v).	Acerolas armazenadas a 22 °C e 10 °C com 85% UR	A 1% conservou o maior teor de ácido ascórbico e à 10°C manteve a qualidade dos frutos por um período de até 15 dias.	Maciel, Lima et al. (2004)
Goma Xantana de 0,4 - 1,4% (m/v).	Acerolas armazenadas a 30 °C com 70-80% UR por 6 dias.	A 1,4% retardou o amadurecimento, preveniu a penetração de O ₂ , prolongou a vida útil por até 6 dias sem danos.	Quoc, Hoa et al. (2016)
Filmes à base de 8% de farinha de resíduos de diferentes frutas e vegetais (FVR) e 4% de farinha de casca de batata.	Acerolas armazenadas de 8 – 10 °C e 40 –44% UR	Aumentou a vida de prateleira em 50% (até 16 dias) e uma menor perda de massa 30-57% em relação ao controle.	Ferreira, Fai et al. (2016)
Filmes à base de 100g de puré de acerola, 1,6g de alginato de sódio e 4g de xarope de milho, reforçados com nanofibras de celulose (CW) ou montmorilonita (MMT)	Acerolas armazenadas a 6°C por 7 dias	Ambos os nanocompósitos utilizados prolongaram a estabilidade da fruta, diminuindo a perda de peso, perda de ácido ascórbico e	Azeredo, Miranda et al. (2012)

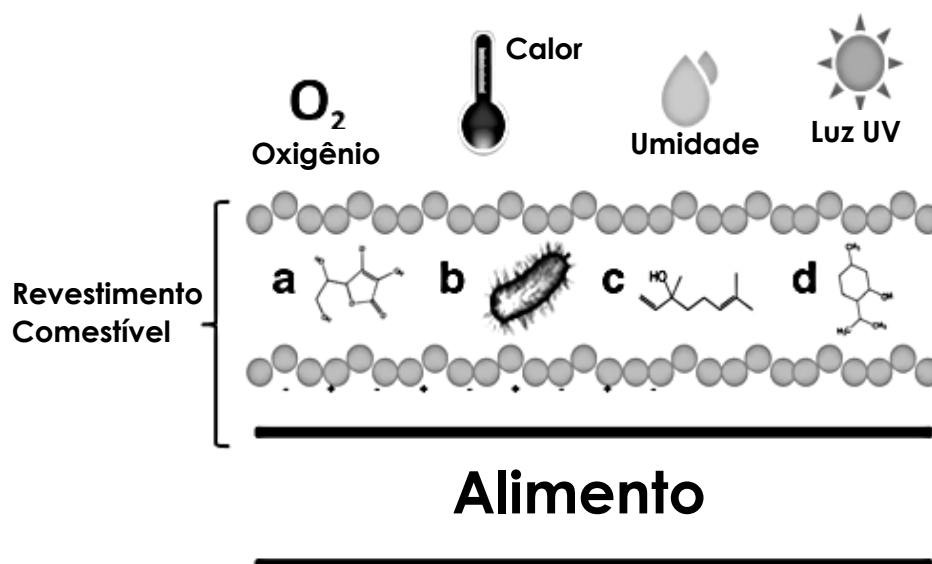
retardando o
amadurecimento.

2.5 Revestimentos bioativos

Os revestimentos com propriedades antimicrobianas criaram um novo conceito de embalagens *ativas*, desenvolvidas para reduzir, inibir ou impedir o crescimento de microorganismos nas superfícies alimentares (Appendini and Hotchkiss 2002, Gutierrez, Escudero et al. 2009). Os revestimentos e coberturas *bioativas*, por sua vez, são desenvolvidos com a incorporação de compostos bioativos microencapsulados nas matrizes estruturais, com a finalidade de estender a vida de prateleira dos produtos e produzir novos alimentos funcionais, aprimorando suas qualidades nutricionais e aumentando o apelo e aceitação por parte do consumidor.

A natureza dos agentes ativos e bioativos pode ser diversificada, incluindo ácidos orgânicos, enzimas, bacteriocinas, fungicidas, extratos naturais, íons, polifenóis, hidrolisados de proteínas e assim por diante. (Salgado, Ortiz et al. 2015). A matriz estrutural dos revestimentos bioativos é capaz de reter os princípios ativos ou bioativos desejados em condições ideais até sua eventual liberação no alimento. (Lopez-Rubio, Gavara et al. 2006, Silva-Weiss, Ihl et al. 2013), como exemplificado na Figura 3.

Figura 3: Revestimento comestível visualizado como uma matriz encapsulante capaz de oferecer proteção a a) antioxidantes, b) probióticos, c) componentes antimicrobianos e d) componentes de *flavor* contra condições adversas como luz UV, aquecimento, umidade e gases. Fonte: Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala et al. (2014), adaptado.



O uso de revestimentos bioativos é mais eficiente do que uma aplicação direta de componentes bioativos na superfície do produto, uma vez que os revestimentos permitem uma migração seletiva e gradual dos agentes dos compostos encapsulados para a superfície dos alimentos, mantendo uma alta concentração destes compostos enquanto necessário, reduzindo uma perda precoce de funcionalidade, bem como mascarando o característico sabor adstringente destes componentes (Ouattara, Simard et al. 2000, Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala et al. 2014). A Tabela 3 traz alguns exemplos de como agentes bioativos foram incorporados em revestimentos comestíveis e o resultado do uso destes na preservação de diferentes frutas.

Tabela 3: Uso de compostos bioativos em revestimentos comestíveis para estender a vida de prateleira de diferentes frutas.

Composição dos revestimentos bioativos	Amostra e armazenamento	Resultados	Autores
Cera de candelilla, pectina, mucilagem de aloe vera e extrato de folhas de <i>Larrea tridentata</i>	Abacates (<i>Persea Americana</i> cv. Hass) armazenados (7 ± 2 °C) e (25 ± 1 °C, 60% umidade relativa (UR)	Reduziu a perda de massa, manteve a firmeza e o brilho, aumentou vida de prateleira.	(Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017)
Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) contendo um extrato etanólico de própolis	Uvas (<i>Vitis vinifera</i> cv. Muscatel) armazenadas a 1-2 °C e 85-90% UR	Preveniu a perda de massa, e o escurecimento das amostras, melhorou o brilho e mostrou ter propriedades antimicrobianas.	(Pastor, Sánchez-González et al. 2011)
Quitosana contendo óleo essencial de limoneno e Tween® 80	Morangos armazenados a 4 °C durante 21 dias	Aumentou a vida de prateleira, evitou a perda de peso, preveniu contaminação microbiana.	(Vu, Hollingsworth et al. 2011)
Alginato contendo ácido málico e óleos essenciais de palmarosa, capim limão e canela	Melões (<i>Cucumis melo</i> L.) minimamente processados,	Aumentou a vida de prateleira, preveniu contaminação microbiana.	(Raybaudi-Massilia, Mosqueda-Melgar et al. 2008)

	armazenados a 5 °C por 14 dias.	Porém, alterou a cor da amostra.	
Alginato, purê de maçã, glicerol, cloreto de cálcio, N-acetilcisteína, óleos essenciais de orégano e capim limão e vanilina.	Maçãs ‘Fuji’ (<i>Malus domestica</i> Borkh) armazenadas durante 21 dias a 4 °C.	Diminuiu taxas respiratórias, inibiram crescimento microbiano. Porém, permitiram amaciamento da textura.	(Rojas-Graü, Raybaudi-Massilia et al. 2007)

2.6 Reaproveitamento de subprodutos agroindustriais – Resíduo de pracaxi

Diversos frutos, sementes e óleos amazônicos são conhecidos por possuírem uma variedade de compostos bioativos, como compostos fenólicos e antioxidantes naturais. À exemplo disto, o pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze – Figura 4), destaca-se como espécie vegetal amazônica que possui um óleo de grande potencial industrial, em especial por suas características hidratantes, antimicrobianas, e inseticidas (Eckey 1954, Chun, Goodman et al. 1994, Santiago, Viana et al. 2005).

Figura 4: Sementes de pracaxi *in natura* (a) e Torta de pracaxi (b)



Entretanto, no beneficiamento deste óleo, uma grande quantidade de torta, ou resíduo é gerada, sendo necessários aproximadamente 3,5 kg de sementes para cada litro de óleo produzido (Mil Grãos, 2017(dos Santos Costa, Muniz et al. 2014).

Informações cedidas gentilmente pelo proprietário da oleoquímica Amazon Oil, localizada no município de Ananindeua no Pará, Luiz Morais (Morais, 2017), em entrevista para a autora do trabalho, revelam que de cada 100 toneladas prensadas à frio da semente de pracaxi, aproximadamente 30 toneladas resultam em resíduos. A torta ou farelo é o resíduo sólido proveniente do processo de extração do óleo vegetal dos grãos de oleaginosas. Esta parte pode conter inúmeras substâncias de alto valor nutricional e econômico (Eckey 1954, Chun, Goodman et al. 1994, Santiago, Viana et al. 2005); Laufenberg, Kunz et al., 2003; Balasundram, Sundram et al., 2006; (Melo, Bergamaschi et al. 2011).

O aproveitamento integral ou de partes desses resíduos tem como objetivo principal agregar valor aos subprodutos, transformando um material antes descartado, em ingrediente. Resíduos como os do beneficiamento de oleaginosas são geralmente utilizados em produtos comerciais, tais como ração animal ou fertilizantes. Porém, estudos têm mostrado que quanto mais se aprofunda o conhecimento sobre a composição deste tipo de resíduos, mais se percebe a vasta gama de produtos que poderiam ser extraídos ou reaproveitados a partir destes. (Maier, Schieber et al. 2009, Babbar, Oberoi et al. 2015, Gomes and Torres 2016).

Em análises preliminares realizadas neste estudo, foi determinado o conteúdo fenólico presente no resíduo de pracaxi, por meio da reação de oxirredução com reagente de Folin-Ciocalteu, conforme o método de Singleton and Rossi (1965). Desta análise, encontrou-se o resultado de 1936,08 mgEAG/100g de amostra. O valor de compostos fenólicos encontrado na torta de pracaxi se mostrou superior ao encontrado em diversos outros extratos de oleaginosas, como castanha-do-Pará, sementes de camelina, linhaça, colza, mostarda, cânhamo, gergelim canola, girassol, avelã, macadâmia e noz-pecã (resultados variando de 51 - 2104 mgGAE 100 g⁻¹) (Gomes e Torres, 2016; Terpinč, Čeh et al., 2012; Teh, Bekhit et al 2014; Sarkis, 2014). O conteúdo fenólico encontrado no resíduo pracaxi é comparável a espécies ricas em compostos bioativos como o açaí (*Euterpe oleracea*): 1072,57 a 4562,54 mgGAE 100 g⁻¹ (Cohen, Paes et al., 2007) e o cutite (*Pouteria macrophylla*): 2915,1 mgGAE 100 g⁻¹ (Gordon, Jungfer et al., 2011), ambas espécies encontradas na Amazônia. Sendo assim, este resíduo demonstra grande potencial de aplicação na incorporação como princípio bioativo em revestimentos comestíveis.

2.7 Revestimento bioativo para frutos de acerola

Até o momento, nenhum estudo foi encontrado envolvendo a utilização de revestimentos contendo extratos bioativos para a preservação de frutos de acerola. Desta forma, para se desenvolver um revestimento bioativo para estes frutos utilizando o extrato da torta de

pracaxi, é necessário utilizar como ponto de partida um revestimento comprovadamente capaz de encapsular tais compostos.

No estudo feito por Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. (2017) foi desenvolvido um revestimento bioativa a base de pequenas porcentagens de produtos naturais (pectina cítrica – usada como um polímero natural, cera de candelila – usada como agente hidrofóbico, mucilagem de *Aloe vera* – usada como um gel para melhorar a difusão de água e gases, glicerol como plasticizante e extrato fenólico de folhas de *Larrea tridentata* como componente bioativo antifúngico e antioxidante). Este revestimento comprovou sua funcionalidade tanto no encapsulamento dos compostos fenólicos do extrato utilizado quanto no aumento do tempo de prateleira de frutos de abacate sem alterar suas características sensoriais.

A fim de desenvolver um revestimento bioativo similar ao utilizado por Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. (2017), no entanto, visando a aplicação em frutos de acerola, é interessante utilizar na matriz estrutural, matérias primas nativas que sejam capazes de desempenhar as mesmas funções dos componentes utilizados no estudo mencionado. À exemplo disto, a cera de carnaúba – proveniente de uma espécie nativa do Brasil (*Copernifera cerifera*) - pode ser utilizada, em substituição da cera de candelila, visto que ambas possuem reologia e microestrutura similares (Milanovic, Manojlovic et al. 2010). Além disso, como substituto para o extrato fenólico de folhas de *Larrea tridentata*, pode-se utilizar o extrato de torta de pracaxi, por ser um composto rico em compostos bioativos e em capacidade antioxidante. Desta forma, espera-se que um revestimento contendo tais componentes seja igualmente capaz de prolongar a vida-útil de frutos.

2.7.1 Cera de Carnaúba

A cera de carnaúba (Figura 5b), é um produto natural extraído da carnaubeira (*Copernifera cerifera*), espécie natural do nordeste brasileiro, e tem sido aplicada sobre frutos e hortaliças desde a década de 1930 com o propósito de minimizar a perda de umidade, reduzir a abrasão da superfície do fruto durante o seu manuseio, melhorar a integridade mecânica e controlar a composição gasosa interna dos frutos (Shellhammer and Krochta 1997, Lin and Zhao 2007).

A cera de carnaúba é composta quase inteiramente de ésteres de ácidos carboxílicos C24 e C28 e álcoois primários de cadeia linear C32 e C34. Em comparação com outras ceras (como a cera de abelha), a cera de carnaúba é significativamente mais dura e menos viscosa (e, portanto, é mais fácil de manipular durante o processamento de encapsulamento dos polifenóis),

mais elástica e mais resistente às deformações, possuindo ponto de fusão entre 83 e 86 °C (Milanovic, Manojlovic et al. 2010, Rossan 2011). Comercialmente as emulsões de cera de carnaúba próprias para utilização em alimentos são classificadas como ceras tipo 3 e são encontradas com nomes fantasia e em diferentes concentrações como: *Aruá, Citrosol, Meghwax, Cleantex, Carbin, Ceraflor, Fruit wax, Citrine*, entre outros (Assis, et al., 2008).

Esta cera é reconhecida como substância segura ao consumo humano. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) permite a adição de cera de carnaúba em embalagens destinadas a entrar em contato com alimentos ou matérias-primas para alimentos através da resolução nº 123, de 19 de junho de 2001 (Brasil, 2001). Por isso, em alimentos, esta cera tem sido utilizada como auxiliar na formulação, como lubrificante, agente antiaglutinante e agente de acabamento de superfície em alimentos cozidos e misturas, gomas de mascar, frutas frescas, molhos, frutas e sucos processados e doces macios. A cera de carnaúba tem se mostrado eficiente, especialmente quando combinada com outros componentes na manutenção da qualidade de diversos frutos, à exemplo de maracujás-amarelos (Mota, Salomão et al. 2003), mangas (Hoa, DUCAMP et al. 2002), goiabas (Jacomino, Ojeda et al. 2003), maçãs (Chiumarelli and Hubinger 2012) e tomates (Miranda 2015).

2.7.2 Pectina

As pectinas são uma família de polissacarídeos de alto peso molecular, carregadas negativamente, encontradas nas paredes celulares de plantas. O ácido galacturônico compreende aproximadamente 70% da pectina, e todos os polissacarídeos pecticos contêm ácido galacturônico ligados covalentemente nas posições O-1 e O-4. A molécula desmetilada de pectina é conhecida por ácido poligalacturônico ou ácido péctico (Blanco, Sieiro et al. 1999). A pectina (Figura 5a) é utilizada na indústria de alimentos como um agente gelificante, estabilizante e espessante, bem como inibidor de cristalização e agente encapsulante. Neste contexto, revestimentos à base de pectina têm sido desenvolvidos por conta de suas boas propriedades mecânicas e excelente barreira contra oxigênio e óleos. No entanto, a pectina por si só não é uma boa barreira contra perda de umidade (Valdés, Burgos et al. 2015).

Figura 5: a) Pectina e b) cera de carnaúba tipo 3.



2.7.3 Glicerol

O glicerol (1,2,3-propanotriol) é um líquido incolor, inodoro e viscoso com um sabor doce, derivado de matérias-primas naturais ou petroquímicas. Por ser atóxico, e de baixo custo, é muito utilizado na indústria de alimentos. O glicerol contém três grupos hidroxílicos hidrófilos, que são responsáveis pela sua solubilidade em água e sua natureza higroscópica (Uquiche Carrasco et al, 2002). É uma molécula altamente flexível formando ligações de hidrogênio intra e intermoleculares e por conta destas propriedades, tem sido utilizado em revestimentos, trazendo maior flexibilidade à estes (Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar os efeitos de um revestimento comestível bioativo contendo extrato de torta de pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) na vida de prateleira de frutos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.).

3.2 Específicos

- Caracterizar o extrato de pracaxi em função do teor de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante no início e ao final do experimento;
- Formular um revestimento com e sem o extrato da torta de pracaxi e aplicá-lo em frutos de acerola que serão armazenados em condições de temperatura ambiente e de refrigeração;
- Analisar se haverá diferenças significativas na durabilidade e nas características físicas e físico-químicas (alterações no peso, pH, sólidos solúveis totais, cor, teor de ácido ascórbico, teor de carotenoides, teor de compostos fenólicos e teor de antocianinas) dos frutos de acerola revestidos com o extrato da torta de pracaxi e os não contendo tal extrato, ao longo do tempo de armazenamento;
- Avaliar se o revestimento enriquecido com extrato da torta de pracaxi possui capacidade antioxidante até o fim do período de armazenamento dos frutos.

4. RESULTADOS

4.1 ARTIGO: Effects of a bioactive coating incorporated with pracaxi (*pentaclethra macroloba* (wiild.) kuntze) residue extract on the post-harvest quality of acerola fruit (*malpighia emarginata* dc)

Da Cunha, Marília Leal¹ Lopes, André Sérgio Freire², De Souza, Jesus Nazareno Silva³ Botelho, Vanessa Albres⁴ Corrêa, Nádia Cristina Fernandes⁵

¹ Federal University of Pará (UFPA), Technology Institute (ITEC), Postgraduation Program in Food Science and Technology (PPGCTA), Belém, Pará, Brasil.

² Federal University of Pará (UFPA), Technology Institute (ITEC), Food Engineering Faculty (FEA), Belém, Pará, Brasil.

³ Federal University of Pará (UFPA), Technology Institute (ITEC), Postgraduation Program in Food Science and Technology (PPGCTA), Belém, Pará, Brasil.

⁴ Federal University of Pará (UFPA), Technology Institute (ITEC), Food Engineering Faculty (FEA), Belém, Pará, Brasil.

⁵ Federal University of Pará (UFPA), Technology Institute (ITEC), Postgraduation Program in Food Science and Technology (PPGCTA), Belém, Pará, Brasil.

Running Title: Bioactive Coating on Acerola Postharvest Conservation

Keywords: Edible coating, oilseed residue, tropical fruit, shelf-life, carnauba wax.

LIST OF ILLUSTRATIONS

Figure 1: Changes in visual appearance of treatments at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b, respectively).	48
Figure 2: Acerola weight loss percentage in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	50
Figure 3: Changes in acerola peel color, expressed as L*, a* and b* values in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	51
Figure 4: Changes in acerola pH in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	53
Figure 5: Changes in acerola TSS as °Brix in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	54
Figure 6: Changes in ascorbic acid content of acerola as mg·100 g ⁻¹ in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	55
Figure 7: Changes in carotenoid content as µg 100 g ⁻¹ in function of time in room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	56
Figure 8: Changes in phenolics content as mg GAE 100 g ⁻¹ in function of time in room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	57
Figure 9: Changes in anthocyanin content as mg kg ⁻¹ in function of time in room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).	58

LIST OF TABLES

Table 1: Total phenolic content of the bioactive coating at at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions.	47
--	----

LIST OF SYMBOLS, ACRONYMS AND ABBREVIATIONS

%	Percentage
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CVACBA	Center for the Valorization of Bioactive Compounds of the Amazon
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	Grams
GA	Acerolas coated without the pracaxi cake extract
GO	Acerolas uncoated: Control group
GP	Acerolas coated with the pracaxi cake extract
h	Hour
kg	Kilogram
L	Liter
LAOS	Laboratório de Operações de Separação
mg GAE 100 g⁻¹	mg gallic acid equivalents per 100 g of sample
min	Minutes
ml	Mililiters
mm	Milimeters
°C	Degrees Celsius
pH	Potential of Hydrogen
PVC	Polyvinyl Chloride
RH	Relative Humidity
TE	Trolox equivalent
TSS	Total Soluble Solids
US \$	United States Dollars
µg	Micrograms
µL	Microliter

EFFECTS OF A BIOACTIVE COATING INCORPORATED WITH PRACAXI (*PENTACLETHRA MACROLOBA* (WILD.) KUNTZE) RESIDUE EXTRACT ON THE POST-HARVEST QUALITY OF ACEROLA FRUIT (*MALPIGHIA EMARGINATA* DC)

ABSTRACT

A bioactive coating based on carnauba wax, pectin, vegetable glycerin and pracaxi (*Pentachletra macroloba* (Wiild.) Kuntze) residual cake extract was applied on acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruit by immersion, in order to evaluate its effects on fruit shelf life, stored at refrigerated (4 ± 2 °C) and room (30 ± 1 °C, 80% RH) conditions. Control treatments were acerola fruit without coating (GO) and acerolas with coating but without pracaxi residue extract (GA). Changes in color, pH, total soluble solids (°Brix), weight loss, ascorbic acid, phenolics content, carotenoid and anthocyanin content were monitored during 13 and 6 days for fruit stored at refrigerated and room conditions respectively. Bioactive coatings with pracaxi (GP) demonstrated to have antioxidant activity until the end of the storage period and was effective in prolonging fruit quality for 3 and 7 days longer than control samples (GO) at room and refrigerated conditions, respectively. GP treatments significantly reduced weight loss, maintaining 84% and 77% of the original weight for room and refrigerated conditions, and preserved fruit color until the end of the experiments. The bioactive coating also retained the highest ascorbic acid levels (65.5% and 92% of the initial values for room and refrigerated conditions, respectively) and preserved the highest levels of carotenoids and phenolic compounds, including anthocyanins until the last days of storage. This bioactive coating is a promising, easy and cheap alternative for preservation of quality and shelf life prolongation of acerola fruit stored at refrigerated and room conditions.

Keywords: Edible coating, oilseed residue, tropical fruit, shelf-life, carnauba wax.

MANUSCRITO EM ETAPA FINAL DE PREPARAÇÃO PARA SUBMISSÃO PARA A
REVISTA FOOD PACKAGING E SHELF LIFE

1. INTRODUCTION

Every year, several producing countries suffer severe post-harvest losses of fruit and vegetables (Kumar and Kalita 2017, FAO 2018, Faqeerzada, Rahman et al. 2018). Food losses are the result of direct quantitative losses throughout the supply chain, during the harvesting, transportation or handling of edible crops, or indirect losses due to physiological or phytopathological damage (Gustavsson, Cederberg et al. 2011, Kumar and Kalita 2017, Verma, Plaisier et al. 2019). In Brazil – world’s largest producer of tropical fruit – post-harvest losses of agricultural products totaled about US \$ 19.4 billion in 2012, not including the impact on the market for goods and services resulting from these losses (Pinto and Jacomino 2013, Costa, Guilhoto et al. 2015, Henz 2017, Henz and Porpino 2017).

Tropical fruit like West Indian cherry, or acerola (*Malpighia emarginata* DC) – a native species of Central America, now mostly produced and commercialized by Brazil (Marques, Ferreira et al. 2007, de Freitas, Maia et al. 2014) – stands as a species with a vast agroindustrial potential and great economic appeal prospect for local growers. The exotic fruit has attracted the interest of consumers worldwide due to its flavor, its high content of vitamin C, its attractive red color in complete maturation and its antioxidant properties due to carotenoids and flavonoids such as anthocyanins and anthocyanidins (Vendramini and Trugo 2004, Mezadri, Pérez-Gálvez et al. 2005, Maria do Socorro, Pérez-Jiménez et al. 2010, Delva and Schneider 2013).

Nevertheless, a few hours after harvest, acerola fruit start losing large amounts of moisture and vitamin C, besides being susceptible to various pathogens (Alves, Chitarra et al. 1993, Almeida, Araújo et al. 2003) . These fruit are also prone to shriveling and/or drying, and to changes in peel and pulp texture, color and flavor during transportation, handling and storage, what leads to a short shelf life of 2-3 days at room temperature (Vendramini and Trugo 2000, Delva and Schneider 2013), and 6-7 days at 8 °C and 85-90% of relative humidity with PVC packaging (Alves, Chitarra et al. 1993). Thus, acerola’s short shelf life generates up to 40% of losses along its production chain (de Freitas, Maia et al., 2014; Quoc, Hoa et al., 2016).

Losses of fruit and vegetables at almost every stage of the production chain can be reduced by the use of appropriate packaging (Gustavsson, Cederberg et al. 2011, Shinde, Rodov et al. 2018, Elik, Yanik et al. 2019). For this reason, the food industry has sought to invest in the development of edible films and coatings for fruit and vegetables, consisting of biodegradable materials (Cerqueira, Lima et al. 2009, Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. 2017). Edible coatings are defined as a thin layer of edible material applied on the surface of a

food, Its constitution may include mainly structuring biopolymers like polysaccharides, proteins, lipids (oils and waxes) and food additives as well as mixtures of these components (Falguera, Quintero et al. 2011, Silva-Weiss, Ihl et al. 2013).

These coatings create a modified atmosphere in fresh or minimally processed food surfaces, acting as a barrier against vapors, oils, solutes and physical damage, avoiding dehydration, weight loss, surface darkening and oxidation, protecting aromatic components, vitamins and bioactive compounds, and preserving the integrity of the products as long as possible (Abbasi, Iqbal et al. 2009, Campos, Gerschenson et al. 2011, Gol, Patel et al. 2013, Salgado, Ortiz et al. 2015, Badawy and Rabea 2018).

In addition, these packaging are able to improve food safety and quality due to their natural biocidal activity or due to the incorporation of bioactive, antimicrobials and antioxidant substances in the structural matrices ((Rojas-Graü, Oms-Oliu et al. 2009, Saucedo-Pompa, Rojas-Molina et al. 2009, Quiros-Sauceda, Ayala-Zavala et al. 2014, Aguayo, Burgos et al. 2016, Valdés, Ramos et al. 2017) Villafañe, 2016). These compounds may come from a range of natural species or from the residues generated as by-products in the processing of these.

Studies have shown that Amazon oilseeds like pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Wiild.) Kuntze), as well as the large amount of residue generated during its pressing, may be a rich source of bioactive compounds - such as phenolic compounds – exhibiting great antimicrobial properties, being useful as a natural food additive. (Eckey 1954, Chun, Goodman et al. 1994, Santiago, Viana et al. 2005); Laufenberg, Kunz et al., 2003; Balasundram, Sundram et al., 2006;(Melo, Bergamaschi et al. 2011).

Previous reports have also highlighted the efficiency and efficacy of carnauba wax - a plant exudate from a Brazilian palm tree (*Copernicia cerifera*) - as key ingredient of edible films and coatings. Particularly, they have been successfully applied and improved the shelf life quality of fresh-cut fruit and whole fruit and has been greatly used as an encapsulating matrix for bioactive compounds (Milanovic, Manojlovic et al. 2010, Barman, Asrey et al. 2011, Chiumarelli and Hubinger 2012, Mehayar, Al-Ismaïl et al. 2012, Kim, Lee et al. 2013, Chiumarelli and Hubinger 2014).

Over the last years, several studies on the use of edible films and coatings on fruit have been performed and have proved their effectiveness. However, to date, no study has been found involving the use of bioactive coatings for the preservation of acerola fruit. For this reason, the

main objective of the present study was to prolong shelf life of acerola fruit stored at room and refrigerated conditions by the application of a bioactive and biodegradable coating based on carnauba wax (*Copernifera cerifera*), pectin, glycerol and of the extract of pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze) residue as an antioxidant component.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Chemicals

Carnauba wax type 3 was purchased from Kalim Química (Junqueirópolis, São Paulo, Brazil) and citric pectin from Metapunto Company (São Paulo, São Paulo, Brazil). Vegetable Glycerin U.S.P. was purchased from LabSynth (Diadema, São Paulo, Brazil) and Sodium hypochlorite from analytical grade (Sigma Aldrich).

2.2 Biological Material

In this study, 4Kg of the pracaxi residual cake (*Pentachletra macroloba* (Wiild.) Kuntze) were kindly supplied by Amazon Oil company, located in the municipality of Ananindeua (1° 22 '26.5 "S / 48° 24' 6.12" W, 21m), Pará Brazil, in April 2018. The residue used in the present work comes from the cold pressing from pracaxi oilseed. 10 Kg of acerola fruit (*Malpighia emarginata* DC.) were collected at the Takamatsu farm, located in Quatro Bocas (2° 25 '11 "S / 48° 14' 6" W, 46m) in the municipality of Tomé-Açú -, Pará, Brazil, at the maturation stage number 4 according to Alves, Chitarra et al. (1993) (fruit predominantly light red with some yellow spots). The fruit were harvested in the rainy season, in June 2018.

2.3 Samples Preparation

Pracaxi cake was conditioned and transported to the laboratory in polyethylene bags, where it was dried in air circulation oven for 24 hours at 35-40 °C and stored in freezer until the experiments were carried out. Acerola fruit were transported to the laboratory in polyethylene bags, where they were manually selected according to homogeneity in shape, maturation, and absence of damage. Fruit were disinfected with a solution of sodium hypochlorite (0.2 g/L) for 5 min and dried at room temperature (Saucedo-Pompa, Rojas-Molina et al. 2009). The analyses were conducted at the Laboratory of Separation Operations (LAOS) located in the Department of Food Engineering / UFPA and at the Center for the Valorization of Bioactive Compounds of the Amazon (CVACBA), located in the Science and Technology Park of Guamá, both in the city of Belém-Pará, Brazil.

2.3.1 Hydroethanolic Extraction of Bioactive Compounds of the Pracaxi Cake

The extract of the bioactive compounds of the pracaxi cake was prepared in an orbital shaker at 60 °C for 60 minutes. The solvent/solid ratio was 19:1 and the solvent used was 50% ethanol (Matthäus 2002, Mohsen and Ammar 2009) The supernatant was concentrated in a CentriVap concentrator (Labconco Corp., Kansas City, MO) for 3 hours.

2.3.2 Coating Formulation and Application

The coating formulation was made with 1.1% pectin, 0.16% carnauba wax, 0.3% glycerol, (following the optimized values used in the study by Aguirre-Joya, Ventura-Sobrevilla et al. (2017), adapted for carnauba wax) and 0.6% of the pracaxi extract in distilled water. Treatments were: GP: coating with 0,6% pracaxi, GA: coating without pracaxi extract and GO: control treatment (uncoated fruit). Acerola fruit were randomly divided in three groups (GP, GA and GO), and coating was formed by immersion in correspondent emulsion for 5 s and let it dry at room temperature. Fruit from the control group (GO) were submerged only in distilled water. After this process, fruit were placed in small plates of polystyrene (plastic), containing about 40g each and were later identified and stored.

2.4 Shelf Life Evaluation of the Treatments

Acerola groups were stored under refrigerated conditions at 4 ± 2 ° C and under controlled conditions in a climacteric chamber (Binder, KBF 115-UV) at 30 ± 1 ° C and 80% RH, thus forming 6 distinct groups (GP, GA and GO stored at room temperature and GO, GA and GP stored under refrigeration). The storage time was 6 days for treatments at room temperature, where all the experiments were performed on days 1, 2, 3, 4 and 6. For samples stored in refrigerated conditions, storage time was 13 days and all experiments were performed on days 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11 and 13. The experiments performed at each time interval for all acerola treatments were: weight loss determination, colorimetric analysis, pH and total soluble solids content (TSS) analyses, ascorbic acid content, total carotenoids content, total phenolics content, total anthocyanins content and antioxidant activity analyses.

One of the objectives of this research was to determine the contribution of the phenolic compounds of pracaxi cake extract to the total antioxidant activity of the bioactive coatings. Thus, samples of the coatings containing pracaxi cake extract were stored under the same conditions of the acerola samples: in refrigeration at 4 ± 2 ° C and at room temperature at 30 ± 1 ° C and 80% RH. The coating samples were analyzed at the beginning and at the end of the experiments (Days 0 and 6 for room temperature and days 0 and 13 for refrigeration). Therefore, total phenolics content and antioxidant capacity were determined both on the crude pracaxi cake extract and on the bioactive coatings. All analyses will be detailed below.

2.4.1 Weight Loss Percentage

Acerola samples were weighted at the begin of the experiments, at each storage interval and final days. The difference between initial and final weight of the fruit was considered as a total weight loss. Results were expressed as the percentage of loss from the initial weight, according to the official method of the AOAC (1994).

2.4.2 Color Analysis

Superficial color alterations on acerola fruits were monitored at each storage interval with a Konica Minolta colorimeter model CR-400 (Osaka, Japan). Luminosity was measured directly on the surface of acerolas peel according to the recommendations of the International Commission on Illumination (CIELAB, 1986), color space $L^* a^* b^*$, by reflectance. Calibration was performed with standard white plate, following the manufacturer's instructions. The color parameters measured with respect to the standard plate were luminosity (L^*), which varies from black (0) to white (100); a^* , which varies respectively from green (-60) to red (+60) and b^* , which varies from blue (-60) to yellow (+60).

2.4.3 Physic-Chemical Analyses

For all the acerola analyses described below, acerola fruit of all treatments were macerated without seeds and later diluted 1: 1 with distilled water, homogenized and filtered in a sieve. The pH value was determined using a pH meter (Ph Pro Meter - Linelab No. CJ6615). The total soluble solids content (TSS) was determined with a refractometer (Abbe - model Q767B) and expressed in °Brix. Measurements were performed for each time interval for each treatment.

2.4.4 Ascorbic Acid Content

The ascorbic acid content of the acerola fruit was determined by the Tillmans method (titrimetric), which is based on the reduction of 2,6-dichlorophenol-indophenol by ascorbic acid, according to the AOAC official method 43.065 (1984), modified by Benassi and Antunes (1988) by replacing the metaphosphoric acid solvent with oxalic acid. The results are expressed as mg of Ascorbic acid ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) on a fresh weight basis.

2.4.5 Total Carotenoid Content

A weight portion (1–10 g) of the acerola pulp was used to measure the total carotenoids. The carotenoids were extracted according to Rodriguez-Amaya (1994) using acetone with subsequent partitioning in petroleum ether as solvents. The total carotenoids content was

measured spectrophotometrically at 450 nm using the extinction coefficient of 2592 and results were expressed as β -carotene equivalents ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) of fresh weight.

2.4.6 Total Anthocyanin Content

The total anthocyanin content of the acerola samples was determined using the pH differential method (Sellappan, Akoh et al. 2002) with two buffer systems: Potassium chloride buffer, pH 1.0 (0.025 M) and sodium acetate buffer, pH 4.5 (0.4 M). Sample preparation was conducted as described for color measurement: Briefly, 0.4 ml of the extract was mixed with 3.6 ml of corresponding buffers and read against a blank at 510 and 700 nm. Absorbance (A) was calculated as:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH\ 4.5}$$

Monomeric anthocyanin pigment concentration in the extract was calculated as cyanidin-3-glucoside (mg L^{-1}).

Monomeric anthocyanin pigment (mg L^{-1}) = $(A \times MW \times DF \times 1000) / (MA \times 1)$
where A: absorbance; MW: molecular weight (449.2); DF: dilution factor; MA: molar absorptivity (26,900). The total anthocyanin content was expressed as cyanidin-3-glucoside ($\text{mg}/100\text{ g}$).

2.4.7 Total Phenolics Content

The determination of the total of phenolic compounds content present in the pracaxi cake extract, in the bioactive coatings and in the acerola samples was performed by visible spectrophotometry using the Folin-Ciocalteu reagent, according to the method described by Singleton and Rossi (1965). 1g of the sample was weighed into beaker, 19 ml of solvent (70% acetone, 29.5% ultrapure water, 0.5% glacial acetic acid) were added, and the samples were extracted using a magnetic mixer for dissolution in the absence of light at room temperature (25 °C). The supernatant was centrifuged at 4 ° C and 8000 rpm for 20 minutes in the absence of light. Total phenolics content was measured spectrophotometrically at 765 nm. Gallic acid was used as standard and the results obtained are expressed as mg gallic acid equivalents ($\text{mg GAE } 100\text{ g}^{-1}$) on a fresh weight basis.

2.4.8 Antioxidant capacity

The antioxidant capacity of the pracaxi cake extract, and of the bioactive coating were determined by the ORAC assay, which was conducted according to Silva, Souza et al., 2007 methodology. Samples were analyzed on a microplate fluorimeter, that monitored the effect of

the sample on fluorescence decomposition, resulting from the oxidation induced by the peroxy radical (ROO*) of fluorescein. The extraction of the antioxidants was adapted to solubilize the antioxidant compounds of the samples, using acetone as the extracting solvent. Trolox was used to generate a standard curve. The antioxidant capacity of the samples was expressed as μmol Trolox equivalent (TE) per g (μmol of TE g^{-1}) on a fresh weight basis.

2.5 Statistical Analysis

Experiments were conducted under a completely random design (CRD), with three repetitions. Standard deviation (SD) was calculated. Analysis of variance (ANOVA) was used to perform analysis of data with the Statistica 7.0® software and comparison of means was done by Tuckey test, $p < 0.05$.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Pracaxi Residue Extract and Bioactive Coating Evaluation

Table 1 shows the results of the total phenolic content and antioxidant capacity measurement of the pracaxi residue extract, of the bioactive coating enriched with this extract in the beginning and at the end of experiments.

Table 1: Total phenolic content of the bioactive coating at at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions.

	Total Phenolic Content mg GAE 100.mL⁻¹	Antioxidant Capacity μmol TE 100.mL⁻¹
Pracaxi Residue Extract	2570.12 ± 31.25a	12323.99 ± 79.57a
R0	20.82 ± 9.14 b	1148.47 ± 33.07b
R6	5.66 ± 0.44d	254.76 ± 5.34d
R13	7.25 ± 5.20c	411.05 ± 44.87c

R0: Bioactive coating immediately after the formulation; R6: Bioactive coating stored at room temperature (30 °C and 80% RH), on the last day of analysis (day 6). R13: Bioactive coating stored in refrigeration (4 °C) on the last day of analysis (Day 13). Means followed by equal letters in the same column do not differ statistically from each other by the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Up to now, no studies on the bioactive composition of the pracaxi cake has been found. The results found for the total phenolics content of the pracaxi residue extract was of 2570.12 mgGAE 100 g⁻¹ – a value superior to the ones found on other oilseed cake extracts, such as brazil nuts, camelina seed, linseed, rapeseed, white mustard, hemp, flaxseed, canola sesame, sunflower, hazelnut, macadamia and pecan (results ranging from 51 – 2104 mgGAE 100 g⁻¹) (Gomes and Torres, 2016; Terpinc, Čeh et al., 2012; Teh, Bekhit et al., 2014; Sarkis, 2014). The phenolic content found in pracaxi residue is comparable to species rich in bioactive compounds such as açai (*Euterpe oleracea*): 1072.57 to 4562.54 mgGAE 100 g⁻¹ (COHEN, PAES et al.) and cutite (*Pouteria macrophylla*): 2915.1 mgGAE 100 g⁻¹ (Gordon, Jungfer et al. 2011), both Amazonian fruit.

For bioactive coatings R0 corresponds to the coating immediately after the formulation, and this value is attributed to the effect of the addition of the pracaxi extract in the coating formulation. R6 corresponds to the value found on the coating stored under the same conditions of the acerola treatments at room temperature, on the sixth and last day of analysis. For this coating, on the 6th day, the remaining content of phenolic compounds was only 25.8% of the original content, a sign of great degeneracy when stored at 30 °C and 80% RH. The value corresponding to R13, is found in the bioactive coating that was stored under the same conditions of the acerola treatments at refrigeration, on the last day of analysis (day 13),

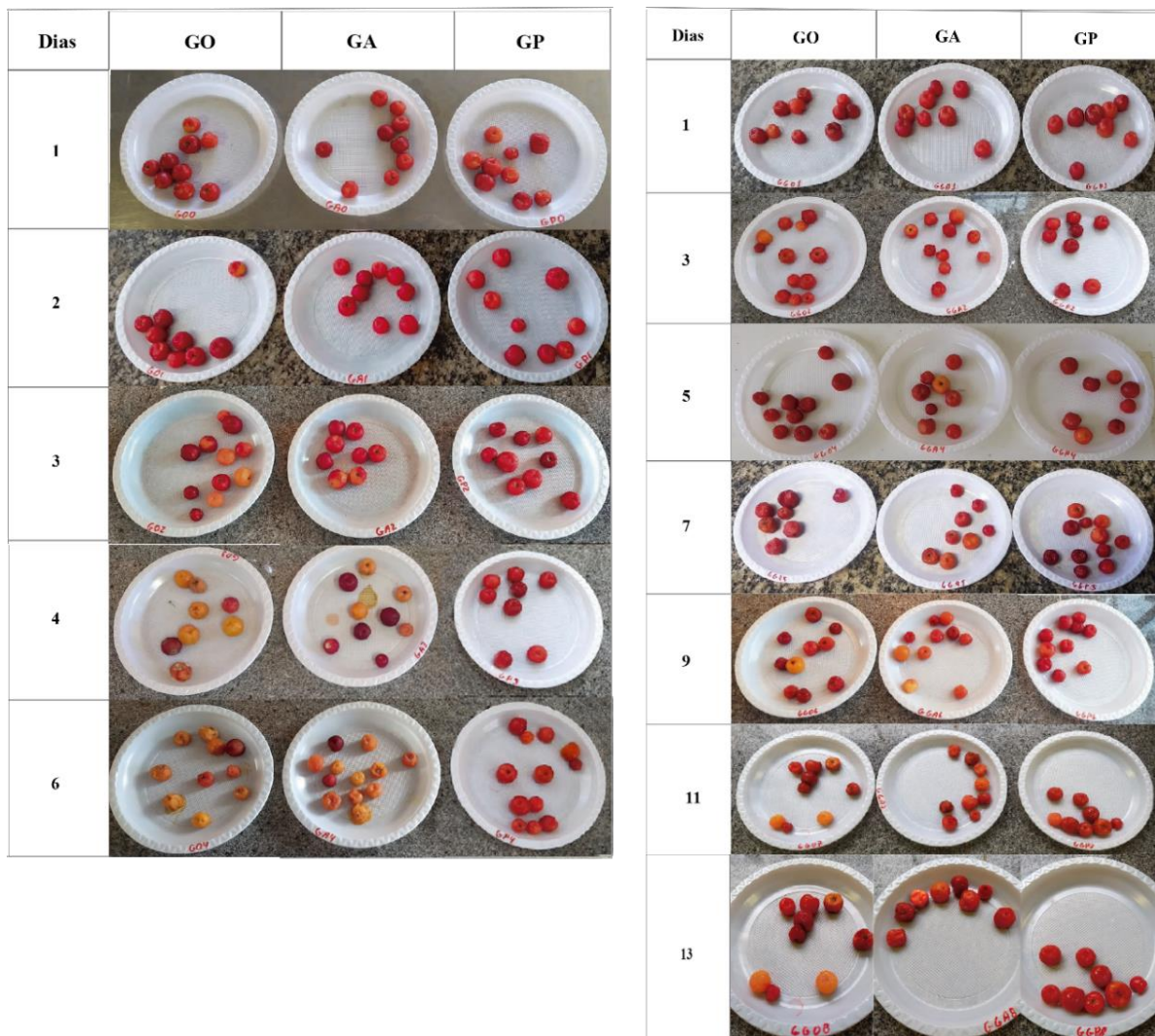
showing that this storage condition preserved 36% of the total phenolic content present in the initial coating.

Overall, results show that antioxidant capacity was in accordance with the contents of phenolic compounds in the pracaxi cake extracts, and in the bioactive coating, showing that R6 was able to retain 22.2% of its original antioxidant capacity, while R13 could retain 38% of its original value. Results shows that cold storage allowed the retention of the bioactive compounds and antioxidant capacity on de coatings for a longer period than room temperature storage.

3.2 Shelf life evaluation of the acerola samples

Figure 1 (a, b) shows the changes in the appearance of the fruit stored at room temperature (30°C and 80% RH) and in refrigeration (4°C) respectively, throughout the storage time.

Figure 1: Changes in visual appearance of treatments at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2°C) storage conditions (a and b, respectively).



GP: Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA: acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GO: and acerolas without coating (control).

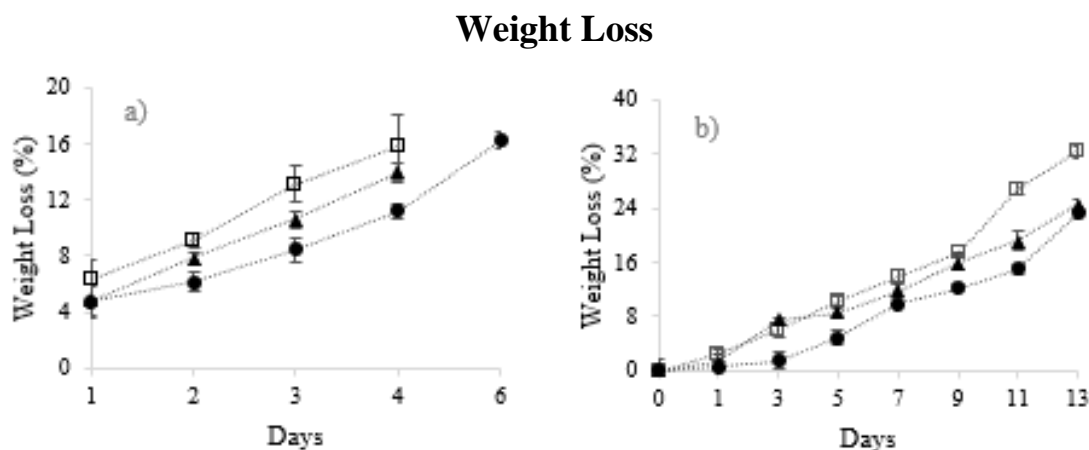
The most evident alterations between the groups are shown in the groups stored at room temperature, where from the third day of storage, it is noticed that the control group (GO) and the GA group begin to visibly lose their characteristic coloration - possibly caused by the degeneration of pigments such as anthocyanins and carotenoids - and from day 4 when signs of microbial spoilage started to appear and, therefore, were no longer suitable for consumption. GP group, however, began to show visual changes in coloration only on day 4 and did not present signs of microbial degradation until day 6, which may indicate antimicrobial properties of the coating, as a result of the addition of the pracaxi cake extract.

For groups stored in refrigeration, at day 7 and 9, GO and GA treatments respectively appeared to have lost the original turgidity and coloration and were no longer visually attractive for consumption. GP, however, started to present symptoms of dehydration and alterations in its original peel color, at lower levels, only on day 11. All analyzes were discontinued when the treatments no longer appeared to be suitable for consumption. Visual changes observed suggest that the bioactive coating can prolong acerola shelf life, serving as a barrier on the surface of the fruit and limiting the respiration and ripening rate, as well as preventing dehydration and degeneration of fruit pigments.

3.2.1 Weight Loss Percentage

Due to fruit ripening, all the samples showed a significant ($P < 0.05$) physiological weight loss throughout the experiments. During cold storage, acerola fruit lost more weight than at room conditions (Fig. 2), due to the time of experimentation, as the refrigerated conditions allowed the evaluation the treatments for 13 days compared to the 6 days of the room storage, and to the natural dehydration caused by cold storage.

Figure 2: Acerola weight loss percentage in function of time at room ($30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

However, for both refrigerated and room temperature samples, it was observed that the coated treatments, especially GP, presented a lower tendency to weight loss when compared to others, presenting a minimum loss of weight during cold storage with a final loss of 23.25% in comparison with the 24.55% and 32.32% of GA and GO respectively. Same happened at the room conditions storage: GA presented a final loss of 13,96 % and GO of 15,98% respectively on 4th and final day of experiments for these treatments. GP, however, had a final loss of 16,25% on the 6th and final day of analysis for this treatment, showing that the incorporation of pracaxi residue extract to the edible coating decreases the weight loss in prolonged storage in both conditions.

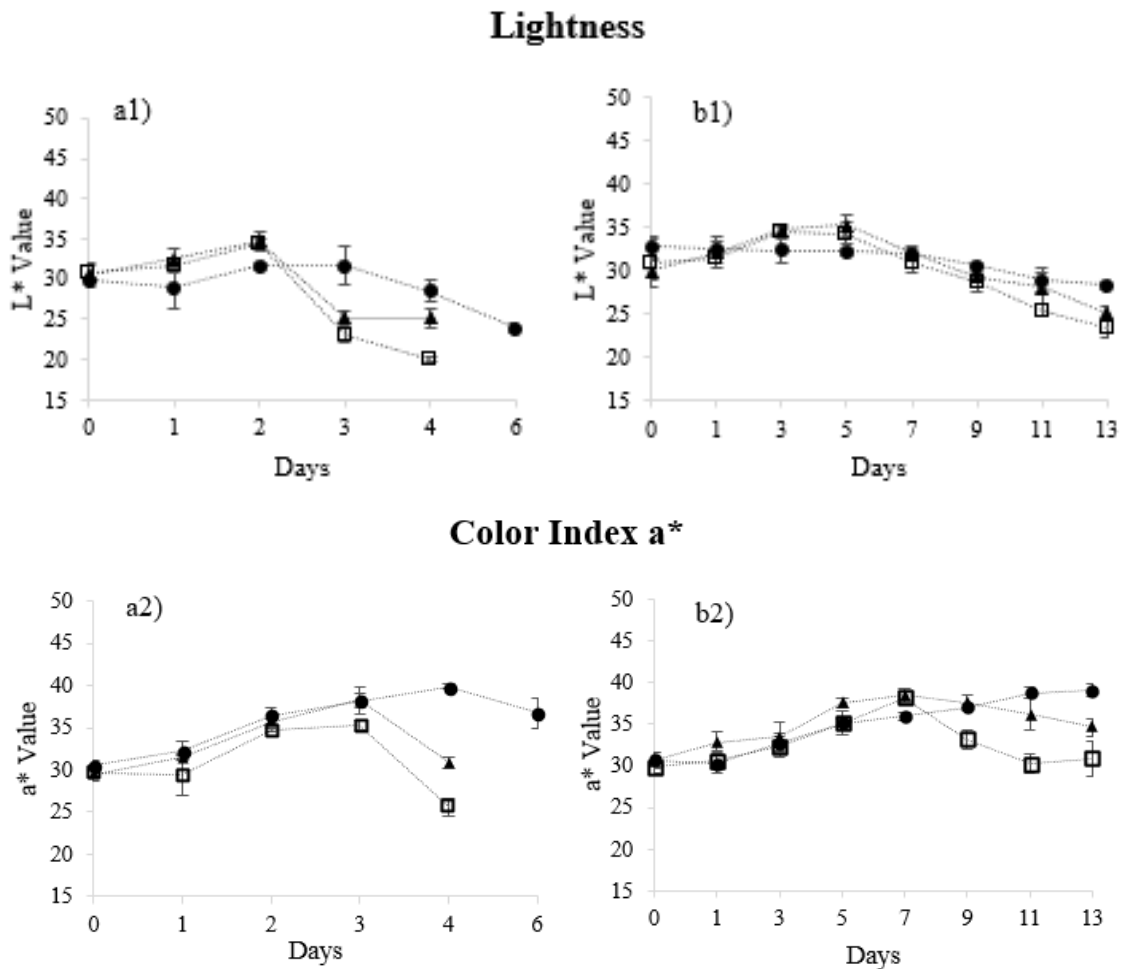
The results obtained are in agreement with those of de Carvalho and Manica (1994), when uncoated acerola fruit stored in refrigeration ($5.5 \text{ }^\circ\text{C}$ - $8 \text{ }^\circ\text{C}$) lost approximately 19% of their weight on the tenth day of storage. Also, in the work of Ferreira, Fai et al., (2016), acerola fruit with a coating made of biodegradable residues and stored in refrigeration ($8 \text{ }^\circ\text{C}$ - $10 \text{ }^\circ\text{C}$) presented a similar behavior in relation to the weight loss, since the coated groups showed greater fluid retention (9-15% weight loss on the 8th day) than the non-coated. (17% weight loss on the 8th day).

This result may be due to coatings lowering the water vapor pressure gradient between the fruit surface and the surrounding atmosphere, offering greater barrier to mass transfer and delaying ripening rate. Especially when it comes to the GP group, with the addition of the pracaxi cake extract - a viscous liquid with a hydrophobic behavior - the coating may have had a greater adhesion to the surface of the fruit, thus offering greater external protection.

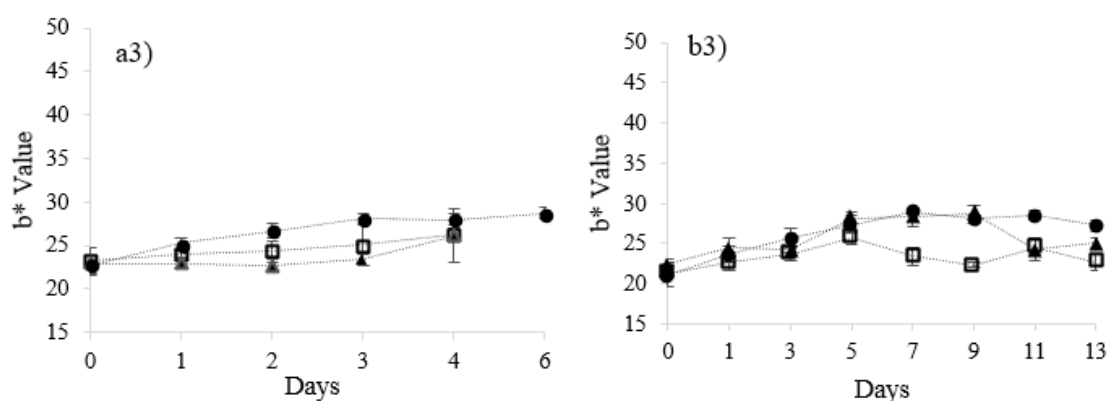
3.2.2 Color Analysis

Color is an important parameter on fruit quality and is directly linked to pigment concentration, which in acerola fruit is predominantly due to anthocyanins and carotenoids. The luminosity (L^*) represents the brightness on the fruit surface and differs between the treatments ($p > 0.05$) evaluated (Fig. 3: a1, b1).

Figure 3: Changes in acerola peel color, expressed as L^* , a^* and b^* values in function of time at room ($30 \pm 1^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Color Index b*



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

For both storage conditions, L* values increased reaching maximum levels, followed by a decrease until the end of the storage. This behavior is possibly due to changes in fruit during the transition to the last stage of maturation with an increase on the pigment synthesis (Alves, Chitarra et al. 1993), with posterior darkening possibly because of the natural degradation of these pigments. However, for this analysis, all GP treatments showed higher L* values ($p > 0.05$), preserving fruit brightness for a longer period. The results obtained are similar to those found by Azeredo, Miranda et al. (2012) for acerolas with montmorillonite reinforced alginate–acerola puree coatings ($L^* = 27,5 - 28,5$) and to those of Aminah and Anna (2011) for uncoated acerolas in the last maturation stages ($L^* \sim 30$).

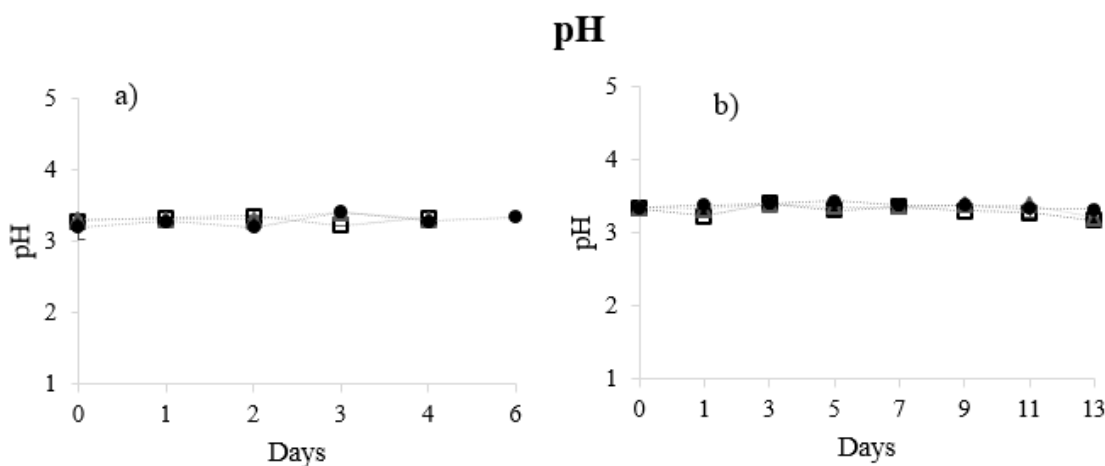
The a* index represents a change of color from green to red and is associated with the synthesis and accumulation of pigments like anthocyanins (Souza, Moura et al. 2014). In this work, GA and GO treatments reached maximum a* values on day 3 (Fig. 3: a2, b2), for room temperature storage and on day 7 for refrigerated conditions, followed by a decrease and a minor red color intensity until the end of the storage, possibly due to pigments deterioration. Conversely, GP treatments at both storage conditions presented a significant ($p > 0.05$) increase in a* values when compared to other treatments, showing a more intense red coloration at end of storage periods. The b* index (Fig. 3: a3, b3), thus, indicate the change of color from blue to yellow. There was no significant ($p > 0.05$) difference between treatments at room temperature. However, for the groups in refrigeration, GP showed values of b* significantly higher than the other treatments, showing a stronger intensity of yellow color. It can be observed that, for all treatments, the b* index presented values lower than a*, showing a greater intensity of red color, a positive and attractive characteristic to consumers. Similar results were found by Adriano,

Leonel et al. (2011) for a^* values (37.16), but smaller values of b^* (21.70) for acerolas in the last maturation stage.

3.2.3 pH

Changes in pH of acerola treatments during storage time are presented in Fig. 4 for refrigerated and room storage conditions (a and b, respectively).

Figure 4: Changes in acerola pH in function of time at room ($30 \pm 1^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

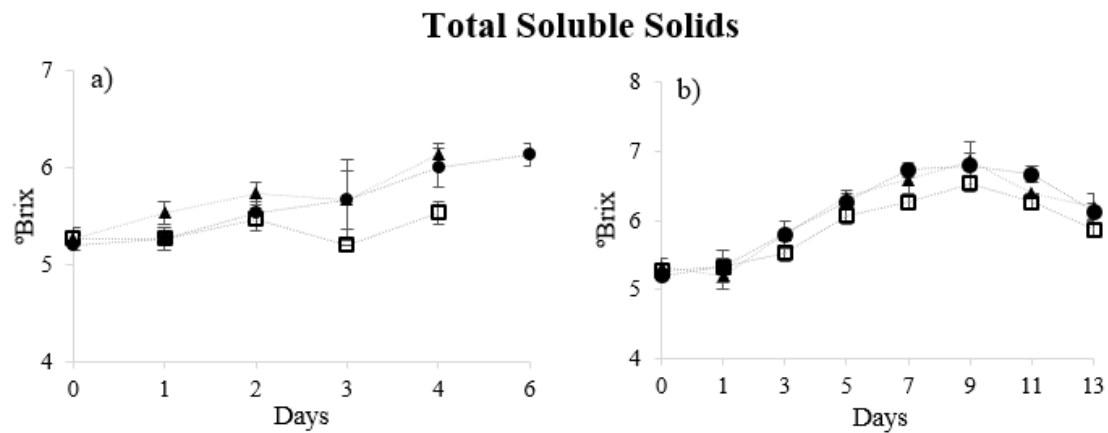
pH is a parameter of low variability in acerolas (Musser, Lemos et al. 2004), ranging from 2.58 to 3.91 in complete stage of maturation (de Freitas, Maia et al. 2014). In this study, pH values fluctuated slightly during storage time, varying from 3.16 to 3.80 for groups stored in refrigeration, and from 3.11 to 3.44 for groups stored in room temperature. There was no significant difference ($p > 0.05$) between the groups evaluated. The results obtained shows that the bioactive packaging didn't alter the normal characteristics of pH in acerola fruit.

The results found were similar to those found by Maciel, Lima et al. (2004), which acerola fruit were coated with cassava starch biofilms at 22°C with 85% RH and at 10°C with 85% RH and, in all groups, pH ranged between 3.1 and 3.4. Ferreira, Fai et al. (2016) described pH values in acerola ranging from 3.13 to 3.63, while Oliveira, Moura et al. (2012) reported values from 3.13 to 3.50. One possible explanation for the stability of pH values is that the differences in degree of dissociation between ascorbic acid - which decreases along the storage period - and other organic acids which appears during maturation, produce a constant net balance in pH values (Vendramini and Trugo 2000).

3.2.4 TSS

For fruit at room temperature, there was a small increase in TSS content over the storage time, ranging from ~ 5.2 to 6.2 ° Brix (Fig. 5a) and the only significant difference between the groups was at the fourth day.

Figure 5: Changes in acerola TSS as °Brix in function of time at room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2 °C) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

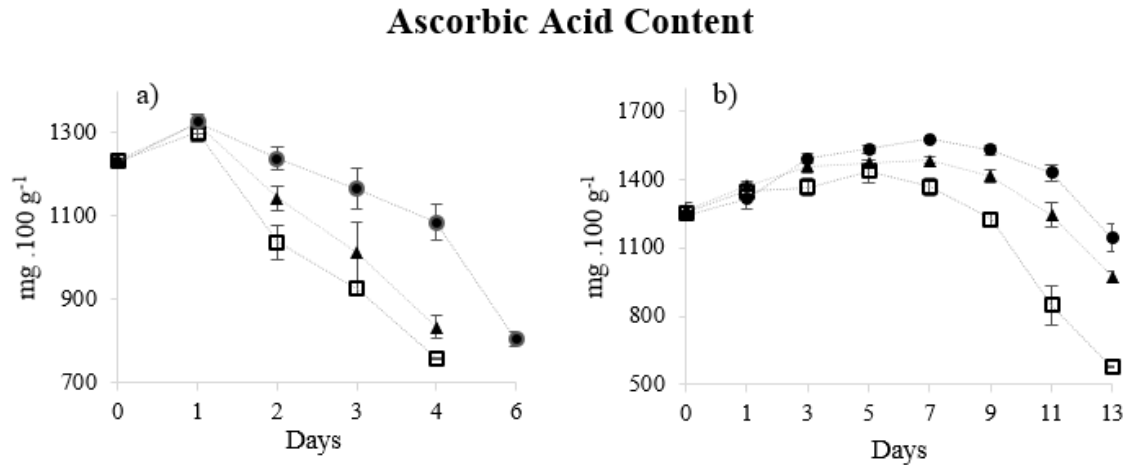
For the groups stored in refrigeration (Fig. 5b), the values of TSS varied between 5.2 - 6.8 ° Brix. The values increased, reaching a peak on day 9 and then, suffered a decrease. In the present study, GA and GP groups expressed slightly higher values than the control groups in both conditions of storage. The increase in TSS values can be attributed to insoluble polysaccharides hydrolysis. TSS values are higher in mature acerola fruit (Nogueira et al., 2002), as the conversion of starch to soluble sugars, during maturation process, occurs rapidly due to be a climacteric fruit with an elevated respiration rate (Alves et al., 1995). However, the reduction of TSS values on the 13th day of storage for refrigeration groups resulted from soluble sugars degradation at the beginning of senescence stage.

The results resemble to those of Maciel, Lima et al. (2004), who evaluated the variation of the TSS content in groups of acerola fruit coated and uncoated with manioc starch biofilms stored at 10 ° C and 22 ° C, observing that all groups suffered small changes in SST levels, increasing from 5.2 to maximum 6.1 ° Brix. The results are also similar to those of Brunini, Macedo et al. (2004) (results varying between 5.67-8.22 ° Brix) and those of Sagar, Kuna et al. (2013) (average of 6.2 ° Brix) for the content of TSS in uncoated acerola fruit.

3.2.5 Ascorbic Acid Content

Mean values of ascorbic acid (Fig. 6) increased in all groups on the first days of storage when compared to initial values.

Figure 6: Changes in ascorbic acid content of acerola as $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ in function of time at room ($30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

However, for the groups at room temperature (Fig. 5a), the values of GO and GA started to decrease from the 2nd day of storage and from the 3rd day to the GP group, whereas in the groups in refrigeration these values began to decrease at 7th day for the GO group and at 9th day for GA and GP groups. In both storage conditions, GP groups retained the highest ascorbic acid levels at the storage period. There was a significant difference ($p < 0.05$) between ascorbic acid values when compared to the initial values, in all treatments. The mean values of ascorbic acid found in the present study ranged between 1579 mg and 576 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ for groups in refrigeration and between 1325 mg and 758 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ for groups at room temperature.

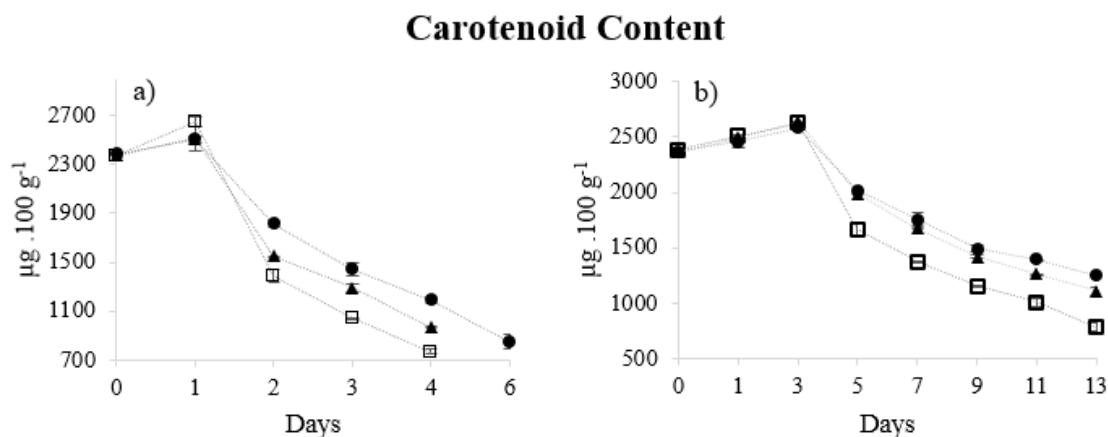
These results are comparable to those found in the work of Maciel, Lima et al. (2004), which ranged between 1319 mg and 777 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of fruit pulp stored at 10°C for 15 days and between 1318 mg and 944 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of fruit pulp stored at 22°C for 5 days. The authors also observed an increase in ascorbic acid levels before the decline for treatments. This decrease is observed during maturation process of acerola fruit, independently of temperature or packaging utilized for storage (Alves, Menezes et al. 1995). Vitamin C losses are enhanced by extended storage, higher temperatures, low relative humidity, physical damage, and chilling injury (Lee and Kader 2000).

Ascorbic acid is easily oxidized by the presence of oxygen, heavy metal ions, alkaline pH and high temperature. Ascorbate oxidase has been proposed to be the major enzyme responsible for enzymatic degradation of ascorbic acid in the presence of molecular oxygen (BIN SAARI, FUJITA et al. 1995). In the present work, the ascorbic acid loss was reduced by the incorporation of the coatings, in particular the enriched with pracaxi cake extract, that may have reduced the gas diffusion and, consequently, protected the fruit, decreasing the rate of ascorbic acid oxidation. These results are in agreement with previously reported effects of edible coatings in acerola fruit (Azeredo, Miranda et al. 2012).

3.2.6 Total Carotenoid Content

Carotenoid content varied between 756 μg and 2391 $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ β -carotene equivalents of fresh weight for treatments at room temperature and between 790 μg and 2625 $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ for refrigerated treatments, over the storage time (Fig. 7)

Figure 7: Changes in carotenoid content as $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$ in function of time in room ($30 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating with pracaxi (*Pentaclethra maculosa*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra maculosa*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

In all treatments, carotenoid content first reached a maximum value followed by a decrease over time. The raise on carotenoids content in acerola fruit reflects the degradation of chlorophyll, with the concomitant increase in the content of this pigment, while the fruit matures and reaches the highest values in the last maturation stage (Alves, Menezes et al. 1995). However, when fruit enter in the senescence stage, the results show that there is a decrease in carotenoid content for all groups. Although in all groups the carotenoid content decreased over time, GP treatment was significantly ($p > 0.05$) more effective in the conservation of carotenoids than the other treatments, while preserving up to 63.2 % of initial carotenoid content

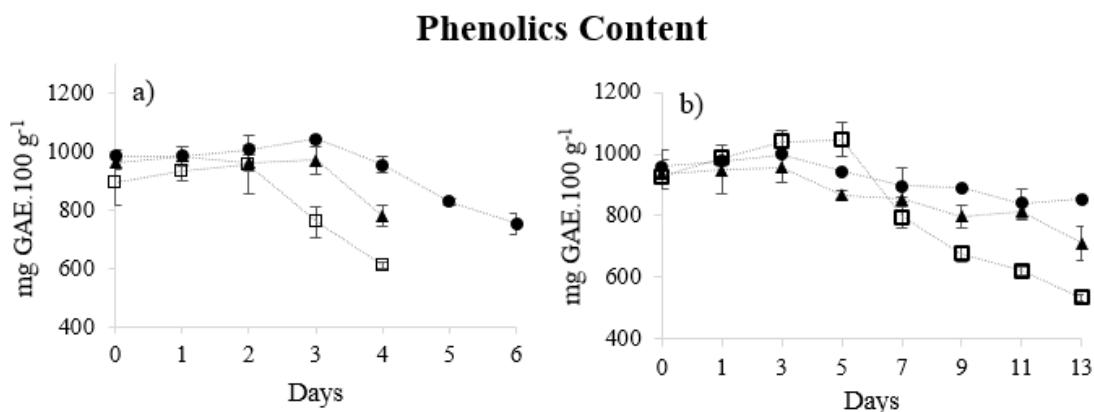
at the last storage day for fruit at room temperature and 52.6% for fruit at refrigeration. The GA group, although showing lower values than the GP group, also presented a greater retention ($p > 0.05$) of this pigment when compared to the control group (GO). The results found in this study were similar to those of Lima, Mélo et al. (2005) for mature fruit of acerola ($940 \mu\text{g} - 3090 \mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) and are superior to those found by Mezadri, Pérez-Gálvez and Hornero-Méndez (2005), who found $1396.63 \mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ of carotenoids content for mature fruit of acerola.

Carotene degradation is related to abiotic stresses, such as mechanical damage that stimulates enzymes involved in repair of cell membranes (Rolle and CHISM III 1987), such as lipoxygenase that catalyzes the co-oxidation of pigments and can bleach carotenoids (Klein, King et al. 1985) and also to oxidation reactions, which can be either autoactivated (autooxidation), induced by light (photo-oxidation) or catalyzed by enzymatic oxidation (Pénicaud, Achir et al. 2011). Therefore, the bioactive coatings possibly protected acerola fruit against gas diffusion and superficial damages, retaining a higher content of carotenoids for a longer period.

3.2.7 Total Phenolics Content

Total phenolics content decreased statistically in all treatments during fruit storage (Fig. 8). However, for fruit stored at room temperature (Fig 8a), GA and GP groups were able to retain 81% and 76.3% of the initial phenolic content of the fruit until days 4 and 6 respectively, while GO retained only 68.2% of the initial contents until day 4.

Figure 8: Changes in phenolics content as mg GAE 100 g^{-1} in function of time in room ($30 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, 80% RH) and refrigerated ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

Same behavior was observed for the refrigeration storage (Fig 8b), with GP group showing greater retention of the initial content (89.1%) when compared to GA (76 %) and GO

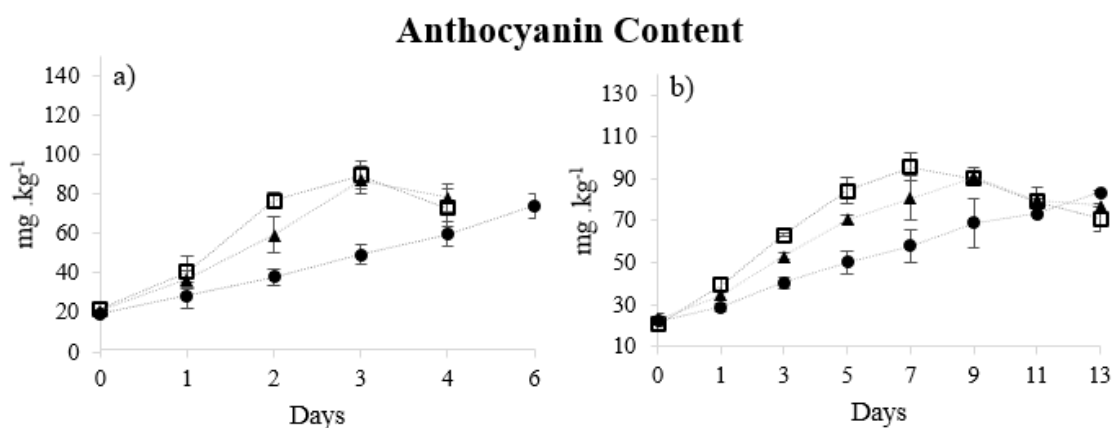
(57.8%), on the 13th and last day of experiments. Values found ranged from 1046.37 mg to 622.37 mg GAE 100 g⁻¹ for refrigeration treatments and from 1042.01 mg to 609.22 mg GAE 100 g⁻¹ for room temperature. These values were similar to those found by Mezadri, Villaño et al. (2008) for squeezed and crushed acerola fruit (1150 mg - 805 mg GAE 100 g⁻¹) and lower than those found by Oliveira, Moura et al. (2012) for mature acerola fruit (1679 mg - 931 mg GAE 100 g⁻¹).

In spite of the overall reduction in phenolic content, there was a slight increase in these values in the initial days of storage for all treatments, which may be linked to the production of anthocyanins - the main phenolic components present in mature acerolas (Rice-Evans, Miller et al. 1997), in the last ripening period of the fruit, before its degeneration in fruit senescence. For this reason, Vendramini and Trugo (2004) reported that the phenolic compounds detected in acerola may be classified in two categories; phenolic anthocyanin pigments and non-anthocyanin phenolics. Among the factors that influence the stability of these components are the presence of oxygen and enzymes, such as polyphenol oxidases, and peroxidases (Jackman and Smith 1996, Aquino, Mões et al. 2011). This implies that the coatings possibly formed a protective barrier on the surface of acerola fruit and reduced the supply of oxygen for enzymatic oxidation of phenolic compounds.

3.2.8 Total Anthocyanin Content

Among the phenolics, anthocyanins are responsible for important changes in the color of fruit and vegetables. Results found show that the total anthocyanins content increased during storage period (Fig. 9).

Figure 9: Changes in anthocyanin content as mg kg⁻¹ in function of time in room (30 ± 1 °C, 80% RH) and refrigerated (4 ± 2°C) storage conditions (a and b).



Acerolas with bioactive coating containing pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GP (●), acerolas coated without pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue extract; GA (▲) and acerolas without coating (control); GO (□).

At both storage conditions, GA and GO reached maximum values of total anthocyanins content before the end of the experiments, suffering a progressive reduction of this content until the last day of storage. For room temperature treatments (Fig. 9a) GO and GA presented the highest content of total anthocyanins on the 3rd day, reaching 89.6 mg and 87.1 mg. kg⁻¹ fresh weight, respectively. For refrigerated treatments, GO reached its maximum content on day 7 (95.7 mg. kg⁻¹) and GA on day 9 (91 mg. kg⁻¹). GP treatments, in turn, in both storage conditions exhibited a more linear growth in the total anthocyanins content, reaching a maximum value on 6th day with 74 mg. kg⁻¹ at room temperature and on 13th day with 83.5 mg. kg⁻¹ at refrigeration.

The results found were superior to those of Lima de Araújo, et al. (2009), who found values ranging from 61.3 to 8.12 mg. kg⁻¹ for acerola fruit clones coated with PVC film and conserved under refrigeration for 12 days. Results, however, were lower than those of Lima et al. (2002), which found contents of 141.1 a 262.3 mg. kg⁻¹ in acerola pulps stored for 180 days. Moura et al. (2007), studying acerola clones found anthocyanin levels ranging from 18.1 to 284.7 mg. kg⁻¹, showing the variability also for this parameter.

Strong red coloration is an important factor in the quality of acerola and its products, being affected by the total anthocyanins content and their distribution. However, due to their reactive structure, anthocyanins demonstrate great instability, and are readily degraded in food products in response to nonenzymatic factors as heat and light, and to enzyme groups as the glycosidases, polyphenoloxidases and peroxidases, leading to the formation of less colored compounds, and to dark and / or insoluble compounds (Francis and Markakis 1989, Piffaut, Kader et al. 1994, Jackman and Smith 1996). Thus, as with phenolic content, the coatings containing the pracaxi extract (GP) may have formed a protective barrier against oxidation, prolonging the quality and the visual attractiveness of the fruit.

4 CONCLUSION

The application of carnauba wax based bioactive coating with natural extract of pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) residue presents beneficial effects on acerola shelf life quality parameters. Acerola fruit coated with the bioactive formulation could be stored for a period up to 6 days at 30 ± 1 °C and 80% RH and up to 13 days at 4 ± 1 °C with acceptable quality characteristics, having a doubled shelf life when compared to the control treatments.

The bioactive coating demonstrated to have antioxidant activity until the end of the storage period and was effective to extend fruit stability by decreasing weight loss and ascorbic acid loss and keeping the normal values of pH and TSS (°Brix). This treatment delayed fruit ripening and retained a higher content of carotenoids and phenolic compounds, specially anthocyanins, which preserved fruit color and improved fruit appearance by maintaining brightness.

Nonetheless, carnauba wax coating without pracaxi extract did not show satisfactory results on fruit preservation, which demonstrates the crucial role of this component on the formulation of the bioactive coating, possibly due to its hydrophobic nature and antioxidant properties, serving as a protective surface barrier on acerola fruit.

REFERENCES

- Abbasi, N. A., et al. (2009). "Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating." *Pak. J. Bot* 41(1): 343-357.
- Adriano, E., et al. (2011). "Qualidade de fruto da aceroleira cv. Olivier em dois estádios de maturação." *Revista Brasileira de Fruticultura*: 541-545.
- Aguayo, M. d. C. L., et al. (2016). "Effect of different activated coatings containing enterocin AS-48 against *Listeria monocytogenes* on apple cubes." *Innovative food science & emerging technologies* 35: 177-183.
- Aguirre-Joya, J. A., et al. (2017). "Effects of a natural bioactive coating on the quality and shelf life prolongation at different storage conditions of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass." *Food Packaging and Shelf Life* 14: 102-107.
- Almeida, F. A., et al. (2003). "Diagnóstico e quantificação de doenças fúngicas da acerola no Estado da Paraíba." *Fitopatologia Brasileira*, Brasília 28: 176-179.
- Alves, R., et al. (1993). Postharvest physiology of acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruits: Maturation changes, respiratory activity and refrigerated storage at ambient and modified atmospheres. *International Symposium on Tropical Fruits* 370.
- Alves, R., et al. (1995). "Colheita e pós-colheita da acerola." *Acerola no Brasil: produção e mercado*. Vitória da Conquista: UESB: 77-89.
- Aminah, A. and P. Anna (2011). "Influence of ripening stages on physicochemical characteristics and antioxidant properties of bitter melon (*Momordica charantia*)." *International Food Research Journal* 18(3).
- Aquino, A. C. M. d. S., et al. (2011). "Estabilidade de ácido ascórbico, carotenoides e antocianinas de frutos de acerola congelados por métodos criogênicos."
- Azeredo, H. M., et al. (2012). "Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruits." *Journal of food engineering* 113(4): 505-510.
- Azeredo, H. M., et al. (2012). "Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers." *LWT-Food Science and Technology* 46(1): 294-297.
- Badawy, M. E. and E. I. Rabea (2018). *Chitosan-Based Edible Membranes for Food Packaging. Bio-based Materials for Food Packaging*, Springer: 237-267.
- Barman, K., et al. (2011). "Putrescine and carnauba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage." *Scientia Horticulturae* 130(4): 795-800.

BIN SAARI, N., et al. (1995). "Distribution of ascorbate oxidase activities in the fruits of family cucurbitaceae and some of their properties." *Journal of Food Biochemistry* 19(4): 321-327.

Brunini, M. A., et al. (2004). "Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo." *Revista Brasileira de Fruticultura*: 486-489.

Campos, C. A., et al. (2011). "Development of edible films and coatings with antimicrobial activity." *Food and Bioprocess Technology* 4(6): 849-875.

Cerqueira, M. A., et al. (2009). "Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits." *Journal of Food Engineering* 94(3-4): 372-378.

Chiumarelli, M. and M. D. Hubinger (2012). "Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch–Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples." *Food hydrocolloids* 28(1): 59-67.

Chiumarelli, M. and M. D. Hubinger (2014). "Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid." *Food hydrocolloids* 38: 20-27.

Chun, J., et al. (1994). "Pentaclethra macroloba seed effect on larval growth, cell viability, and midgut enzyme activity of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae)." *Journal of economic entomology* 87(6): 1754-1760.

COHEN, K. d. O., et al. Quantificação de polifenóis totais da polpa de açaí cultivar BRS-Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE), In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 7., 2007, Campinas. Ciência e tecnologia de alimentos em benefício a sociedade: ligando a agricultura à saúde: resumos. Campinas: SBCTA: Unicamp/FEA, 2007.

Costa, C., et al. (2015). "Impactos econômicos de reduções nas perdas pós-colheita de produtos agrícolas no Brasil."

de Carvalho, R. I. and I. Manica (1994). "Influência de estádios de maturação e condições de armazenamento na conservação da acerola (*Malpighia glabra* L.)." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29(5): 681-688.

de Freitas, C. A. S., et al. (2014). "Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos." *Current Agricultural Science and Technology* 12(4).

Delva, L. and R. G. Schneider (2013). "Acerola (*Malpighia emarginata* DC): production, postharvest handling, nutrition, and biological activity." *Food reviews international* 29(2): 107-126.

Eckey, E. W. (1954). *Vegetable fats and oils*, LWW.

Elik, A., et al. (2019). "Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables." *Strategies* 5(3).

Falguera, V., et al. (2011). "Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use." *Trends in Food Science & Technology* 22(6): 292-303.

FAO (2018). "World Food and Agriculture Statistical Pocketbook."

Faqeerzada, M. A., et al. (2018). "Postharvest technologies for fruits and vegetables in South Asian countries: a review." *Korean Journal of Agricultural Science* 45(3): 325-353.

Francis, F. J. and P. C. Markakis (1989). "Food colorants: anthocyanins." *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 28(4): 273-314.

Gol, N. B., et al. (2013). "Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan." *Postharvest biology and technology* 85: 185-195.

Gordon, A., et al. (2011). "Phenolic constituents and antioxidant capacity of four underutilized fruits from the Amazon region." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(14): 7688-7699.

Gustavsson, J., et al. (2011). *Global food losses and food waste*, FAO Rome.

Henz, G. P. (2017). "Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far?" *Horticultura Brasileira* 35(1): 6-13.

Henz, G. P. and G. Porpino (2017). "Food losses and waste: how Brazil is facing this global challenge?" *Horticultura Brasileira* 35(4): 472-482.

Jackman, R. and J. Smith (1996). *Anthocyanins and betalains. Natural food colorants*, Springer: 244-309.

Kim, I. H., et al. (2013). "Plum Coatings of Lemongrass Oil-incorporating Carnauba Wax-based Nanoemulsion." *Journal of Food Science* 78(10): E1551-E1559.

Klein, B. P., et al. (1985). "Cooxidation reactions of lipoxygenase in plant systems." *Advances in Free Radical Biology & Medicine* 1(2): 309-343.

Kumar, D. and P. Kalita (2017). "Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries." *Foods* 6(1): 8.

Lee, S. K. and A. A. Kader (2000). "Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops." *Postharvest biology and technology* 20(3): 207-220.

Lima, V. L., et al. (2005). "Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages." *Food Chemistry* 90(4): 565-568.

- Maciel, M. I. S., et al. (2004). "Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation." *Revista Brasileira de Fruticultura* 26(1): 168-170.
- Maria do Socorro, M. R., et al. (2010). "Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre." *International journal of food science & technology* 45(11): 2227-2233.
- Marques, L. G., et al. (2007). "Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.)." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46(5): 451-457.
- Matthäus, B. (2002). "Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(12): 3444-3452.
- Mehyar, G. F., et al. (2012). "Characterization of edible coatings consisting of pea starch, whey protein isolate, and carnauba wax and their effects on oil rancidity and sensory properties of walnuts and pine nuts." *Journal of Food Science* 77(2): E52-E59.
- Melo, P. S., et al. (2011). "Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais." *Ciência Rural* 41(6): 1088-1093.
- Mezadri, T., et al. (2005). "Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata* DC.) and derived products." *European Food Research and Technology* 220(1): 63-69.
- Mezadri, T., et al. (2008). "Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives." *Journal of Food Composition and analysis* 21(4): 282-290.
- Milanovic, J., et al. (2010). "Microencapsulation of flavors in carnauba wax." *Sensors* 10(1): 901-912.
- Mohsen, S. M. and A. S. Ammar (2009). "Total phenolic contents and antioxidant activity of corn tassel extracts." *Food chemistry* 112(3): 595-598.
- Musser, R. d. S., et al. (2004). "The physicochemical characteristics of acerola fruits from germoplasm active bank in Pernambuco." *Food Science and Technology* 24(4): 556-561.
- Oliveira, L. D. S., et al. (2012). "Antioxidant metabolism during fruit development of different acerola (*Malpighia emarginata* DC) clones." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(32): 7957-7964.
- Pénicaud, C., et al. (2011). "Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review." *Fruits* 66(6): 417-440.
- Piffaut, B., et al. (1994). "Comparative degradation pathways of malvidin 3, 5-diglucoside after enzymatic and thermal treatments." *Food chemistry* 50(2): 115-120.

Pinto, P. M. and A. P. Jacomino (2013). *The Postharvest of Tropical Fruits in Brazil. Food Quality, Safety and Technology*, Springer: 77-87.

Quiros-Sauceda, A. E., et al. (2014). "Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review." *J Food Sci Technol* 51(9): 1674-1685.

Rice-Evans, C., et al. (1997). "Antioxidant properties of phenolic compounds." *Trends in plant science* 2(4): 152-159.

Rojas-Graü, M. A., et al. (2009). "The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review." *International Journal of Food Science & Technology* 44(5): 875-889.

Rolle, R. S. and G. W. CHISM III (1987). "Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables." *Journal of Food Quality* 10(3): 157-177.

Sagar, S. B., et al. (2013). "Estimation of physico-chemical properties, nutrient composition and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* DC)." *J. Res. ANGRAU* 41: 97-101.

Salgado, P. R., et al. (2015). "Edible films and coatings containing bioactives." *Current Opinion in Food Science* 5: 86-92.

Santiago, G., et al. (2005). "Avaliação da atividade larvicida de saponinas triterpênicas isoladas de *Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze (Fabaceae) e *Cordia piauhiensis* Fresen (Boraginaceae) sobre *Aedes aegypti*." *Rev Bras Farmacogn* 15: 187-190.

Saucedo-Pompa, S., et al. (2009). "Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado." *Food Research International* 42(4): 511-515.

Sellappan, S., et al. (2002). "Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(8): 2432-2438.

Shinde, R., et al. (2018). "Active and Intelligent Packaging for Reducing Postharvest Losses of Fruits and Vegetables." *Postharvest Biology and Nanotechnology*: 171-189.

Silva-Weiss, A., et al. (2013). "Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods." *Food Engineering Reviews* 5(4): 200-216.

Souza, K. O. d., et al. (2014). "Antioxidant compounds and total antioxidant activity in fruits of acerola from cv. Flor Branca, Florida Sweet and BRS 366." *Revista Brasileira de Fruticultura* 36(2): 294-304.

Valdés, A., et al. (2017). "State of the art of antimicrobial edible coatings for food packaging applications." *Coatings* 7(4): 56.

Vendramini, A. L. and L. C. Trugo (2000). "Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.) at three stages of maturity." *Food Chemistry* 71(2): 195-198.

Vendramini, A. L. A. and L. C. Trugo (2004). "Phenolic compounds in acerola fruit (*Malpighia punicifolia*, L.)." *Journal of the Brazilian Chemical Society* 15(5): 664-668.

Verma, M., et al. (2019). "A Systems Approach to Food Loss and Solutions: Understanding Practices, Causes, and Indicators." *Sustainability* 11(3): 579.

Villafañe, F., 2016. Edible coatings for carrots. *Food Reviews International*, 33(1), 84-103.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, um revestimento comestível à base de cera de carnaúba, pectina cítrica, glicerol e extrato da torta de pracaxi - matérias primas naturais e de baixo custo – foi capaz de prolongar o tempo de vida de frutos de acerola de 3 para 6 dias em temperatura ambiente ($30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$) e de 7 para 13 dias em refrigeração ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$).

O extrato da torta de pracaxi mostrou-se rico em compostos fenólicos (2570.12 ± 31.25 mg EAG $100.\text{mL}^{-1}$) e com grande capacidade antioxidante (12323.99 ± 79.57 $\mu\text{mol TEAC } 100.\text{mL}^{-1}$). O revestimento bioativo armazenado a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 80% UR, ao longo de 6 dias, foi capaz de preservar $25,8\%$ do conteúdo fenólico original (20.82 ± 9.14 mg EAG $100.\text{mL}^{-1}$) e 22% da capacidade antioxidante original (1148.47 ± 33.07 $\mu\text{mol TEAC } 100.\text{mL}^{-1}$), enquanto que o revestimento armazenado em refrigeração foi capaz de preservar 36% do conteúdo fenólico e 38% da capacidade antioxidante total ao final de 13 dias de armazenamento. Desta forma, pode-se observar que o estresse abiótico causado pelo calor e umidade contribuíram para a degradação do revestimento.

. O extrato do resíduo de pracaxi, um líquido viscoso, pode ter contribuído para aumentar a adesividade do revestimento nas paredes dos frutos, criando uma atmosfera modificada ao redor destes, reduzindo a difusão de gases e a sua taxa respiratória e de maturação, e possivelmente reduzindo a oxidação de diversos componentes e protegendo os frutos contra danos externos. O revestimento bioativo foi capaz de minimizar a perda de peso e a perda de ácido ascórbico e mantendo os valores normais de pH e TSS ($^{\circ}$ Brix), além de atrasar o amadurecimento da fruta e reter um maior teor de carotenóides e compostos fenólicos, especialmente antocianinas, que preservaram a cor e aparência da fruta, por mais tempo.

No entanto, o revestimento formulado sem o extrato da torta de pracaxi não demonstrou resultados satisfatórios em relação aos grupos controle, pois não foi capaz de prolongar o tempo de vida dos frutos, possivelmente não os protegendo contra oxidação e trocas gasosas

Assim, dentre os tratamentos avaliados, os melhores resultados encontrados indicam que o armazenamento dos frutos em refrigeração à 4°C , tratados com o revestimento bioativo contendo extrato de pracaxi é a melhor opção para prolongar a vida de prateleira de frutos de acerola.

REFERÊNCIAS

Abbasi, N. A., et al. (2009). "Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating." Pak. J. Bot **41**(1): 343-357.

Adriano, E., et al. (2011). "Qualidade de fruto da aceroleira cv. Olivier em dois estádios de maturação." Revista Brasileira de Fruticultura: 541-545.

Aguayo, M. d. C. L., et al. (2016). "Effect of different activated coatings containing enterocin AS-48 against *Listeria monocytogenes* on apple cubes." Innovative food science & emerging technologies **35**: 177-183.

Aguirre-Joya, J. A., et al. (2017). "Effects of a natural bioactive coating on the quality and shelf life prolongation at different storage conditions of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass." Food Packaging and Shelf Life **14**: 102-107.

Almeida, F. A., et al. (2003). "Diagnóstico e quantificação de doenças fúngicas da acerola no Estado da Paraíba." Fitopatologia Brasileira, Brasília **28**: 176-179.

Alves, R., et al. (1993). Postharvest physiology of acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruits: Maturation changes, respiratory activity and refrigerated storage at ambient and modified atmospheres. International Symposium on Tropical Fruits 370.

Alves, R., et al. (2008). "Antioxidant activity measurement in tropical fruits: A case study with acerola." Acta horticulturae.

Alves, R., et al. (1997). Brazilian experience on the handling of acerola fruits for international trade: Harvest and postharvest recommendations. International Symposium Effect of Pre-& Postharvest factors in Fruit Storage 485.

Alves, R., et al. (1995). "Colheita e pós-colheita da acerola." Acerola no Brasil: produção e mercado. Vitória da Conquista: UESB: 77-89.

Aminah, A. and P. Anna (2011). "Influence of ripening stages on physicochemical characteristics and antioxidant properties of bitter melon (*Momordica charantia*)."
International Food Research Journal **18**(3).

Appendini, P. and J. H. Hotchkiss (2002). "Review of antimicrobial food packaging." Innovative Food Science & Emerging Technologies **3**(2): 113-126.

Aquino, A. C. M. d. S., et al. (2011). "Estabilidade de ácido ascórbico, carotenoides e antocianinas de frutos de acerola congelados por métodos criogênicos."

Azeredo, H. M., et al. (2012). "Nanoreinforced alginate–acerola puree coatings on acerola fruits." Journal of Food Engineering **113**(4): 505-510.

Azeredo, H. M., et al. (2012). "Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers." LWT-Food Science and Technology **46**(1): 294-297.

Babbar, N., et al. (2015). "Therapeutic and nutraceutical potential of bioactive compounds extracted from fruit residues." Critical reviews in food science and nutrition **55**(3): 319-337.

Badawy, M. E. and E. I. Rabea (2018). Chitosan-Based Edible Membranes for Food Packaging. Bio-based Materials for Food Packaging, Springer: 237-267.

Bai, J., et al. (2002). "Alternatives to shellac coatings provide comparable gloss, internal gas modification, and quality for 'Delicious' apple fruit." HortScience **37**(3): 559-563.

Balasundram, N., et al. (2006). "Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses." Food Chemistry **99**(1): 191-203.

Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: technical manual, Food & Agriculture Org.

Barman, K., et al. (2011). "Putrescine and carnauba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage." Scientia Horticulturae **130**(4): 795-800.

BIN SAARI, N., et al. (1995). "Distribution of ascorbate oxidase activities in the fruits of family cucurbitaceae and some of their properties." Journal of Food Biochemistry **19**(4): 321-327.

Blanco, P., et al. (1999). "Production of pectic enzymes in yeasts." FEMS Microbiology Letters **175**(1): 1-9.

Braz, V. B., et al. (2005). "Avaliação de características de qualidade de frutos de genótipos de aceroleira selecionados no município de Viçosa-MG."

Brody, A. L. (2011). "Packaging-Packaging Innovation—Past, Present, and Future." Food Technology-Chicago **65**(12): 80.

Brunini, M. A., et al. (2004). "Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo." Revista Brasileira de Fruticultura: 486-489.

- Cagri, A., et al. (2004). "Antimicrobial edible films and coatings." Journal of food protection **67**(4): 833-848.
- Campos, C. A., et al. (2011). "Development of edible films and coatings with antimicrobial activity." Food and Bioprocess Technology **4**(6): 849-875.
- Carrington, C. S. and R. G. King (2002). "Fruit development and ripening in Barbados cherry, *Malpighia emarginata* DC." Scientia Horticulturae **92**(1): 1-7.
- Cerqueira, M. A., et al. (2009). "Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits." Journal of Food Engineering **94**(3-4): 372-378.
- Chien, P.-J., et al. (2007). "Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit." Journal of Food Engineering **78**(1): 225-229.
- Chitarra, A. and R. Alves (2001). "Tecnologia de pós-colheita para frutas tropicais." Fortaleza: Frutal-Sindifruta.
- Chitarra, M. I. F. and A. B. Chitarra (2006). Pós-colheita de frutas e hortaliças: glossário, UFLA.
- Chiumarelli, M. and M. D. Hubinger (2012). "Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch–Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples." Food hydrocolloids **28**(1): 59-67.
- Chiumarelli, M. and M. D. Hubinger (2012). "Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples." Food Hydrocolloids **28**(1): 59-67.
- Chiumarelli, M. and M. D. Hubinger (2014). "Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid." Food hydrocolloids **38**: 20-27.
- Chun, J., et al. (1994). "Pentaclethra macroloba seed effect on larval growth, cell viability, and midgut enzyme activity of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae)." Journal of economic entomology **87**(6): 1754-1760.
- Coelho, Y., et al. (2003). "Proacerola: Programa de desenvolvimento da cultura da Acerola no Estado da Bahia." Reunião Anual da Sociedade Interamericana de Horticultura Tropical **49**.
- COHEN, K. d. O., et al. Quantificação de polifenóis totais da polpa de açaí cultivar BRS-Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE), In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 7., 2007, Campinas. Ciência e

tecnologia de alimentos em benefício a sociedade: ligando a agricultura à saúde: resumos. Campinas: SBCTA: Unicamp/FEA, 2007.

Corrêa, C. V., et al. (2017). "Influência dos estádios de maturação nas características físico-químicas de frutos de acerola." Revista de Ciências Agrárias **40**(4): 130-139.

Costa, C., et al. (2015). "Impactos econômicos de reduções nas perdas pós-colheita de produtos agrícolas no Brasil."

Costa, C. C. d., et al. (2015). "Impactos Socioeconômicos de Reduções nas Perdas Pós-colheita de Produtos Agrícolas no Brasil." Revista de Economia e Sociologia Rural **53**(3): 395-408.

Davey, M. W., et al. (2000). "Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing." Journal of the Science of Food and Agriculture **80**(7): 825-860.

de Carvalho, R. I. and I. Manica (1994). "Influência de estádios de maturação e condições de armazenamento na conservação da acerola (*Malpighia glabra* L.)." Pesquisa Agropecuária Brasileira **29**(5): 681-688.

de Freitas, C. A. S., et al. (2014). "Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos." Current Agricultural Science and Technology **12**(4).

De Rosso, V. and A. Mercadante (2005). "Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests." Food Research International **38**(8-9): 1073-1077.

de Rosso, V. V., et al. (2008). "Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC–PDA–MS/MS." Journal of Food Composition and analysis **21**(4): 291-299.

Delva, L. and R. G. Schneider (2013). "Acerola (*Malpighia emarginata* DC): production, postharvest handling, nutrition, and biological activity." Food reviews international **29**(2): 107-126.

dos Santos Costa, M. N. F., et al. (2014). "Characterization of *Pentaclethra macroloba* oil." Journal of Thermal Analysis and Calorimetry **115**(3): 2269-2275.

Eckey, E. W. (1954). Vegetable fats and oils, LWW.

Elik, A., et al. (2019). "Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables." Strategies **5**(3).

Embuscado, M. E. and K. C. Huber (2009). Edible films and coatings for food applications, Springer.

Falguera, V., et al. (2011). "Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use." Trends in Food Science & Technology **22**(6): 292-303.

FAO (2018). "World Food and Agriculture Statistical Pocketbook."

Faqeerzada, M. A., et al. (2018). "Postharvest technologies for fruits and vegetables in South Asian countries: a review." Korean Journal of Agricultural Science **45**(3): 325-353.

Fenech, M., et al. (2018). "Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation." Frontiers in plant science **9**.

Ferreira, M. S., et al. (2016). "Edible films and coatings based on biodegradable residues applied to acerolas (*Malpighia punicifolia* L.)." J Sci Food Agric **96**(5): 1634-1642.

Filgueiras, H., et al. (2007). Evaluating the antioxidant capacity of fruits from five new clones of acerola (*Malpighia emarginata* DC.). EULAFF International Workshop, Angra dos Reis, Brazil.

Fischer, I. H., et al. (2009). "Citrus postharvest diseases and injuries related to impact on packing lines." Scientia Agricola **66**(2): 210-217.

França, V. C. and N. Narain (2003). "Caracterização química dos frutos de três matrizes de acerola (*Malpighia emarginata* DC) Chemical characterization of fruits of three matrices of acerola (*Malpighia emarginata* DC)." Food Science and Technology **23**(2): 157-160.

Francis, F. J. and P. C. Markakis (1989). "Food colorants: anthocyanins." Critical Reviews in Food Science & Nutrition **28**(4): 273-314.

Galus, S. and J. Kadzińska (2015). "Food applications of emulsion-based edible films and coatings." Trends in Food Science & Technology **45**(2): 273-283.

Gol, N. B., et al. (2013). "Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan." Postharvest biology and technology **85**: 185-195.

Gomes, E., et al. (2000). "Análise de grupamentos e de componentes principais no processo seletivo em genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC)." Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal **22**(1): 36-39.

Gomes, S. and A. G. Torres (2016). "Optimized extraction of polyphenolic antioxidant compounds from Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) cake and evaluation of the polyphenol profile by HPLC." Journal of the Science of Food and Agriculture **96**(8): 2805-2814.

Gordon, A., et al. (2011). "Phenolic constituents and antioxidant capacity of four underutilized fruits from the Amazon region." Journal of Agricultural and Food Chemistry **59**(14): 7688-7699.

Gustavsson, J., et al. (2011). Global food losses and food waste, FAO Rome.

Gutierrez, L., et al. (2009). "Effect of mixed antimicrobial agents and flavors in active packaging films." J Agric Food Chem **57**(18): 8564-8571.

Han, C., et al. (2004). "Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*)." Postharvest Biology and Technology **33**(1): 67-78.

Hendges, M. V., et al. (2011). "Qualidade de maçãs 'fuji suprema' submetidas a diferentes tipos de dano mecânico." Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal **33**(2): 671-675.

Henz, G. P. (2017). "Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far?" Horticultura Brasileira **35**(1): 6-13.

Henz, G. P. and G. Porpino (2017). "Food losses and waste: how Brazil is facing this global challenge?" Horticultura Brasileira **35**(4): 472-482.

Herbster Moura, C. F., et al. (2007). "Avaliações físicas e físico-químicas de frutos de clones de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC)." Revista Ciência Agronômica **38**(1).

Hernandez-Munoz, P., et al. (2008). "Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage." Food chemistry **110**(2): 428-435.

Hoa, T. T., et al. (2002). "Effect of different coating treatments on the quality of mango fruit." Journal of Food Quality **25**(6): 471-486.

Hong, K., et al. (2012). "Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage." Scientia Horticulturae **144**: 172-178.

Jackman, R. and J. Smith (1996). Anthocyanins and betalains. Natural food colorants, Springer: 244-309.

- Jacomino, A. P., et al. (2003). "Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba." Revista Brasileira de Fruticultura **25**(3): 401-405.
- Jianglian, D. and Z. Shaoying (2013). "Application of chitosan based coating in fruit and vegetable preservation: a review." J. Food Process. Technol **4**(5).
- Johnson, P. D. (2003). Acerola (*Malpighia glabra* L., *M. puniceifolia* L., *M. emarginata* DC): agriculture, production and nutrition. Plants in Human Health and Nutrition Policy, Karger Publishers. **91**: 67-75.
- Kerch, G. (2015). "Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review." Trends in Food Science & Technology **46**(2): 159-166.
- Kim, I. H., et al. (2013). "Plum Coatings of Lemongrass Oil-incorporating Carnauba Wax-based Nanoemulsion." Journal of Food Science **78**(10): E1551-E1559.
- Klein, B. P., et al. (1985). "Cooxidation reactions of lipoxygenase in plant systems." Advances in Free Radical Biology & Medicine **1**(2): 309-343.
- Kowalczyk, D. and B. Baraniak (2014). "Effect of candelilla wax on functional properties of biopolymer emulsion films – A comparative study." Food Hydrocolloids **41**: 195-209.
- Kowalczyk, D., et al. (2017). "Effect of carboxymethylcellulose/candelilla wax coating containing potassium sorbate on microbiological and physicochemical attributes of pears." Scientia Horticulturae **218**: 326-333.
- Kumar, D. and P. Kalita (2017). "Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries." Foods **6**(1): 8.
- Laufenberg, G., et al. (2003). "Transformation of vegetable waste into value added products::(A) the upgrading concept;(B) practical implementations." Bioresource Technology **87**(2): 167-198.
- Lee, S. K. and A. A. Kader (2000). "Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops." Postharvest biology and technology **20**(3): 207-220.
- Li, H. and T. Yu (2001). "Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit." Journal of the Science of Food and Agriculture **81**(2): 269-274.
- Li, Z. and C. Thomas (2014). "Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruits." Trends in Food Science & Technology **35**(2): 138-150.

Li, Z., et al. (2013). "Fruit biomechanics based on anatomy: a review." International Agrophysics **27**(1): 97-106.

LIMA, V., et al. Análise conjunta das características físico-químicas de acerola (Malpighia emarginata DC) do banco ativo de germoplasma em Pernambuco. CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA.

Lima, V. L., et al. (2005). "Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages." Food Chemistry **90**(4): 565-568.

Lin, D. and Y. Zhao (2007). "Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables." Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **6**(3): 60-75.

Lopez-Rubio, A., et al. (2006). "Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials." Trends in Food Science & Technology **17**(10): 567-575.

Maciel, M. I. S., et al. (2004). "Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation." Revista Brasileira de Fruticultura **26**(1): 168-170.

Maia, L. C. B., et al. (2015). "Metabolic alterations in banana induced by mechanical damage." Unimontes Científica **17**(2): 27-34.

Maier, T., et al. (2009). "Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as a valuable source of phenolic antioxidants." Food Chemistry **112**(3): 551-559.

Manaliliby, N. M. D. and M. A. Otterdijk (2011). "Appropriate food packaging solutions for developing countries."

Maria do Socorro, M. R., et al. (2010). "Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre." International journal of food science & technology **45**(11): 2227-2233.

Marques, L. G., et al. (2007). "Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.)." Chemical Engineering and Processing: Process Intensification **46**(5): 451-457.

Matthäus, B. (2002). "Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds." Journal of Agricultural and Food Chemistry **50**(12): 3444-3452.

Mehyar, G. F., et al. (2012). "Characterization of edible coatings consisting of pea starch, whey protein isolate, and carnauba wax and their effects on oil rancidity and sensory properties of walnuts and pine nuts." Journal of Food Science **77**(2): E52-E59.

Melo, P. S., et al. (2011). "Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais." Ciência Rural **41**(6): 1088-1093.

Mezadri, T., et al. (2006). "The acerola fruit: composition, productive characteristics and economic importance." Archivos latinoamericanos de nutricion **56**(2): 101-109.

Mezadri, T., et al. (2005). "Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata* DC.) and derived products." European Food Research and Technology **220**(1): 63-69.

Mezadri, T., et al. (2008). "Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives." Journal of Food Composition and analysis **21**(4): 282-290.

Milanovic, J., et al. (2010). "Microencapsulation of flavors in carnauba wax." Sensors **10**(1): 901-912.

Miller, K. S. and J. Krochta (1997). "Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review." Trends in Food Science & Technology **8**(7): 228-237.

Miranda, M. (2015). "Revestimento nanoestruturado de cera de carnaúba na manutenção da qualidade pós-colheita de tomates."

Mohsen, S. M. and A. S. Ammar (2009). "Total phenolic contents and antioxidant activity of corn tassel extracts." Food chemistry **112**(3): 595-598.

Mota, W. F. d., et al. (2003). "Waxes and plastic film in relation to the shelf life of yellow passion fruit." Scientia Agricola **60**(1): 51-57.

Moura, C. F., et al. (2018). Acerola—*Malpighia emarginata*. Exotic Fruits, Elsevier: 7-14.

Munin, A. and F. Edwards-Levy (2011). "Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review." Pharmaceutics **3**(4): 793-829.

Musser, R. d. S., et al. (2004). "The physicochemical characteristics of acerola fruits from germoplasm active bank in Pernambuco." Food Science and Technology **24**(4): 556-561.

Nogueira, R. J. M. C., et al. (2002). "Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola." Pesquisa Agropecuária Brasileira **37**(4): 463-470.

Oliveira, L. D. S., et al. (2012). "Antioxidant metabolism during fruit development of different acerola (*Malpighia emarginata* DC) clones." Journal of Agricultural and Food Chemistry **60**(32): 7957-7964.

- Olsmats, C. and B. Wallteg (2009). "Packaging is the answer to world hunger." World Packaging Organisation (WPO) and International Packaging Press Organisation (IPPO)(<http://www.worldpackaging.org/i4a/pages/index.cfm>).
- Osorio, F. A., et al. (2011). "Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings." Procedia food science **1**: 287-293.
- Ouattara, B., et al. (2000). "Diffusion of acetic and propionic acids from chitosan-based antimicrobial packaging films." Journal of food science **65**(5): 768-773.
- Pantastico, E. B. (1979). Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales.
- Park, H. J., et al. (2013). Processes and applications for edible coating and film materials from agropolymers. Innovations in Food Packaging: Second Edition, Elsevier Ltd.
- Pastor, C., et al. (2011). "Quality and safety of table grapes coated with hydroxypropylmethylcellulose edible coatings containing propolis extract." Postharvest Biology and Technology **60**(1): 64-70.
- Pazmiño-Durán, E. A., et al. (2001). "Anthocyanins from banana bracts (*Musa X paradisiaca*) as potential food colorants." Food Chemistry **73**(3): 327-332.
- Pedreschi, R. and S. Lurie (2015). "Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stresses in perishables." Postharvest Biology and Technology **107**: 77-89.
- Pénicaud, C., et al. (2011). "Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review." Fruits **66**(6): 417-440.
- Pérez-Gago, M. B. and J. M. Krochta (2005). Emulsion and bi-layer edible films. Innovations in food packaging, Elsevier: 384-402.
- Piffaut, B., et al. (1994). "Comparative degradation pathways of malvidin 3, 5-diglucoside after enzymatic and thermal treatments." Food chemistry **50**(2): 115-120.
- Pimentel, M., et al. (2001). "Influência do processamento sobre a vitamina C do suco da acerola (*Malpighia glabra* L.)." Revista Brasileira de Fruticultura **23**(1): 143-146.
- Pinto, P. M. and A. P. Jacomino (2013). The Postharvest of Tropical Fruits in Brazil. Food Quality, Safety and Technology, Springer: 77-87.
- Ploetz, R. C. (2003). Diseases of tropical fruit crops, CABI.

Porcu, O. and D. Rodríguez-Amaya (2003). Carotenóides de Acerola: Efeito de Estágio de Maturação e Remoção de Película. V Simposio Latinoamericano de Ciencia de Alimentos. Campinas, SP, Brazil.

Quezada-Gallo, J.-A., et al. (2000). Mechanism of aroma transfer through edible and plastic packagings: Are they complementary to solve the problem of aroma transfer?, ACS Publications.

Quiros-Sauceda, A. E., et al. (2014). "Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review." J Food Sci Technol **51**(9): 1674-1685.

Quoc, L., et al. (2016). "Effect of Xanthan gum Solution on the Preservation of Acerola (Malpighia glabra L.)." Cercetări agronomice în Moldova.

Raybaudi-Massilia, R. M., et al. (2008). "Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon." Int J Food Microbiol **121**(3): 313-327.

Rhim, J. W. and T. H. Shellhammer (2005). Lipid-based edible films and coatings. Innovations in food packaging, Elsevier: 362-383.

Rice-Evans, C., et al. (1997). "Antioxidant properties of phenolic compounds." Trends in plant science **2**(4): 152-159.

Righetto, A., et al. (2005). "Chemical composition and antioxidant activity of juices from mature and immature acerola (Malpighia emarginata DC)." Food science and technology international **11**(4): 315-321.

Rojas-Graü, M., et al. (2012). "Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce."

Rojas-Graü, M. A., et al. (2009). "The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review." International Journal of Food Science & Technology **44**(5): 875-889.

Rojas-Graü, M. A., et al. (2007). "Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples." Postharvest Biology and Technology **45**(2): 254-264.

Rolle, R. S. and G. W. CHISM III (1987). "Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables." Journal of Food Quality **10**(3): 157-177.

Rossan, M. R. (2011). "Preparação e caracterização de micro e nanopartículas lipídicas sólidas para aplicação em cosméticos."

- Ruiz-Altisent, M. (1996). "Engineering research to improve fruit quality." Land Technology: 8-9.
- Sagar, S. B., et al. (2013). "Estimation of physico-chemical properties, nutrient composition and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* DC)." J. Res. ANGRAU **41**: 97-101.
- Salgado, P. R., et al. (2015). "Edible films and coatings containing bioactives." Current Opinion in Food Science **5**: 86-92.
- Santiago, G., et al. (2005). "Avaliação da atividade larvicida de saponinas triterpênicas isoladas de *Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze (Fabaceae) e *Cordia piauhiensis* Fresen (Boraginaceae) sobre *Aedes aegypti*." Rev Bras Farmacogn **15**: 187-190.
- Saucedo-Pompa, S., et al. (2009). "Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado." Food Research International **42**(4): 511-515.
- Sellappan, S., et al. (2002). "Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries." Journal of Agricultural and Food Chemistry **50**(8): 2432-2438.
- Shahidi, F. and H. Chi-Tang (2007). Antioxidant measurement and applications; An overview, in antioxidant measurement and its applications, American chemical society Washington DC.
- Shellhammer, T. and J. Krochta (1997). "Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount." Journal of food science **62**(2): 390-394.
- Shinde, R., et al. (2018). "Active and Intelligent Packaging for Reducing Postharvest Losses of Fruits and Vegetables." Postharvest Biology and Nanotechnology: 171-189.
- Silva-Weiss, A., et al. (2013). "Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods." Food Engineering Reviews **5**(4): 200-216.
- Silva, J. d., et al. (2007). "Papaya (*Carica papaya* L.) biology and biotechnology." Tree and Forestry Science and Biotechnology **1**(1): 47-73.
- Singleton, V. L. and J. A. Rossi (1965). "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdc-phosphotungstic acid reagents." American journal of Enology and Viticulture **16**(3): 144-158.
- Smirnoff, N. (2000). "Ascorbate biosynthesis and function in photoprotection." Philosophical Transactions of the Royal Society of London. SERIES B: Biological Sciences **355**(1402): 1455-1464.

Souza, K. O. d., et al. (2014). "Antioxidant compounds and total antioxidant activity in fruits of acerola from cv. Flor Branca, Florida Sweet and BRS 366." Revista Brasileira de Fruticultura **36**(2): 294-304.

Strawn, L. K., et al. (2011). "Microbial safety of tropical fruits." Critical reviews in food science and nutrition **51**(2): 132-145.

Tavares, S. d. H. (1995). Principais Doenças das culturas de: manga, uva, acerola e banana, EMBRAPA-CPATSA.

Tavassoli-Kafrani, E., et al. (2016). "Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans." Carbohydr Polym **137**: 360-374.

Timberlake, C. (1988). "The biological properties of anthocyanin compounds." NATCOL Quart. Bull **1**: 4-15.

Tóth, S. Z., et al. (2013). "The physiological roles and metabolism of ascorbate in chloroplasts." Physiologia plantarum **148**(2): 161-175.

Tyystjärvi, E. (2008). "Photoinhibition of photosystem II and photodamage of the oxygen evolving manganese cluster." Coordination Chemistry Reviews **252**(3-4): 361-376.

Tzec, Y., et al. (2011). "Comportamiento de los frutos de guayaba (psidium guajava L.) sometidos a impacto." Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias **20**(1): 57-61.

Valdés, A., et al. (2015). "Natural pectin polysaccharides as edible coatings." Coatings **5**(4): 865-886.

Valdés, A., et al. (2017). "State of the art of antimicrobial edible coatings for food packaging applications." Coatings **7**(4): 56.

Van Zeebroeck, M., et al. (2007). "Impact damage of apples during transport and handling." Postharvest Biology and Technology **45**(2): 157-167.

Vargas, M., et al. (2008). "Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits." Critical reviews in food science and nutrition **48**(6): 496-511.

Vendramini, A. L. and L. C. Trugo (2000). "Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.) at three stages of maturity." Food Chemistry **71**(2): 195-198.

Vendramini, A. L. A. and L. C. Trugo (2004). "Phenolic compounds in acerola fruit (*Malpighia punicifolia*, L.)." Journal of the Brazilian Chemical Society **15**(5): 664-668.

Verma, M., et al. (2019). "A Systems Approach to Food Loss and Solutions: Understanding Practices, Causes, and Indicators." Sustainability **11**(3): 579.

Vu, K. D., et al. (2011). "Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries." Food Research International **44**(1): 198-203.

Yildiz, F. (2017). Initial preparation, handling, and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables, Springer: 53-92.