

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Bruna Silva Ribeiro

Padrão respiratório, refrigeração e atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cultivares de acerola

BRUNA SILVA RIBEIRO

Padrão respiratório, refrigeração e atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cultivares de acerola

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia — Produção Vegetal do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia — Produção Vegetal.

Orientador: Prof^o Dr^o Sérgio Tonetto

de Freitas

Ribeiro, Bruna Silva

R484p Padrão respiratório, refrigeração e atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cultivares de acerola/ Bruna Silva Ribeiro. – Petrolina, 2017.

109 f.: il.

Dissertação (Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Profº Drº Sérgio Tonetto de Freitas

Referências.

 Acerola. 2. Acerola – Cultivo. 3. Acerola – Pós-colheita. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.973214

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruna Silva Ribeiro

Padrão respiratório, refrigeração e atmosfera modificada na conservação póscolheita de cultivares de acerola

> Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 31 de Julho de 2017.

Banca Examinadora

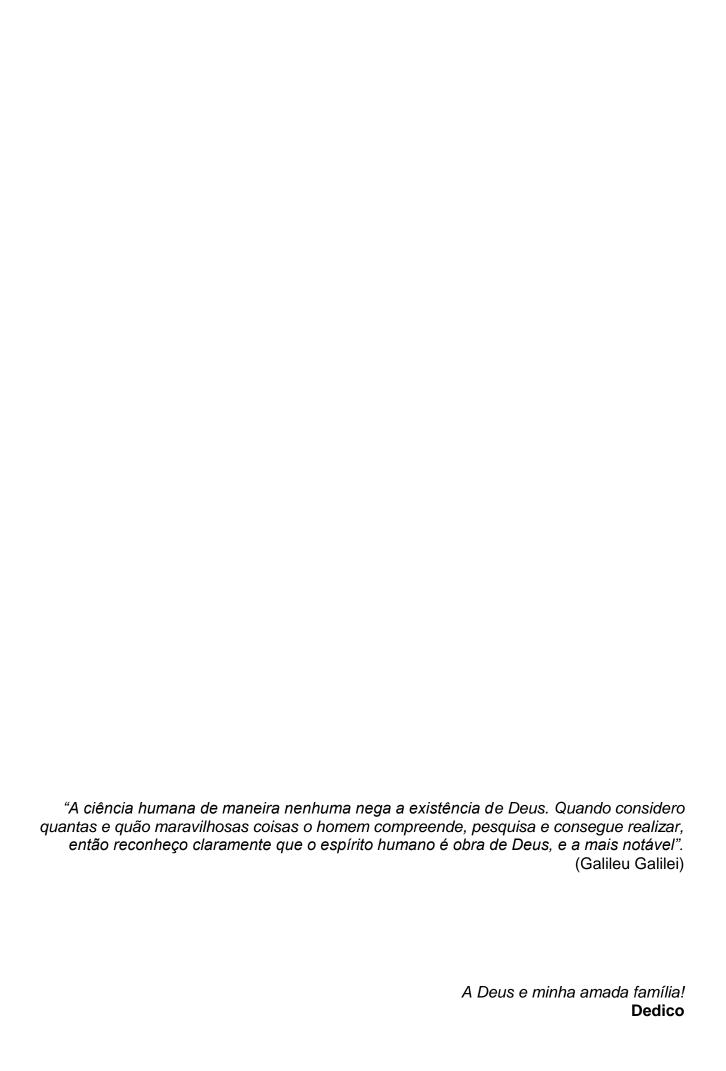
Slige V.F.

Sérgio Tonetto de Freitas, PhD, Embrapa Semiárido/Univasf Orientador

Maria Auxiliadora Coelho de Lima, Dra., Embrapa Semiárido/Univasf

Membro examinador

Acácio Figueirêdo Neto, Dr., Univasf Membro examinador



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, meu eterno e maior protetor, minha força e ânimo renovado a cada dia. Dedico minha vida e todas as minhas conquistas!

Serei eternamente grata aos meus amados Pais, Osias Ribeiro e Nicélia Ribeiro, por todo amor, proteção, amparo e valiosos conselhos em todos os momentos de minha vida. Sem o apoio dos dois, não teria chegado até aqui! Meu irmão de sangue e alma, Marconi Ribeiro, obrigada por todo amor e amizade! Vocês são minha fonte inesgotável de amor e doação!

A Luma, luz da minha vida, o meu grande amor, por ela e para ela são todas as minhas conquistas. Minha filha amada, minha fonte de amor e inspiração. Vou além, por você. Te amo!

A Victor Leonam, meu esposo, parceiro de profissão e de vida. Sempre juntos desde o início da minha vida acadêmica, com as melhores palavras de incentivo, paciência, compreensão e muito amor.

Ao meu orientador Dr. Sérgio Tonetto de Freitas, profissional e ser humano exemplar. Meus sinceros agradecimentos por todo suporte, sabedoria, leveza e sensibilidade transmitidos ao longo desses 2 anos. Motivou-me a continuar firme em todos os momentos. Sua orientação foi fundamental para o desempenho de minhas atividades, contribuindo muito para o meu crescimento profissional, levarei isto comigo para onde for. Tenho grande admiração e serei eternamente grata! Muito obrigada!

Agradeço aos Professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal da Univasf pelos ensinamentos adquiridos.

Aos colegas da turma 2016.1 pelo acolhimento, amizade e parceria, vocês são sensacionais. Em especial, a Joanaylla Albuquerque, minha 'irmã' de laboratório e parceira das melhores conversas. Muito obrigada!

Aos colegas e equipe do Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido: Maria Aparecida, Danielly, Nadiane e Pedro por toda ajuda no desempenho das atividades, amizade e compreensão. A Luna, Dirliane, José, Eugênio, João Paulo, Osvaldo, Rosângela, Taise, Cristina, Nemora e Débora, pelos bons momentos e parceria.

Agradeço novamente a Cida e Nadiane por serem sempre tão amorosas e transmitir tanta paz. Vocês são anjos bons. Obrigada!

As minhas amigas queridas, que, longe ou perto, deram-me forças para continuar: Thays, Janaína, Karina, Indira e Mirella.

A minha família, tios, primos, cunhados, sogro e sogra, pelo apoio e incentivo.

À Embrapa Semiárido, pelo espaço, recursos financeiros e parceria para execução dos trabalhos.

À Facepe, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Univasf, pela oportunidade de realizar e concluir o mestrado acadêmico.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e minha formação profissional!

"Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu"

RESUMO

O consumo de acerola in natura é limitado em razão da alta perecibilidade e curta vida pós-colheita. A aceroleira representa uma das principais espécies produzidas no Vale do São Francisco. O presente estudo teve como objetivo determinar o estádio de maturação para a colheita, a temperatura de armazenamento, a sensibilidade ao etileno, bem como. o uso de atmosfera modificada na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas produzidas no Vale do São Francisco. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foram colhidas em pomares comerciais, em Petrolina, PE. No 1º estudo os frutos foram colhidos em três estádios de maturação fisiológica de acordo com o ângulo hue: 1 = 140º - 100º; 2 = <100º - 60° ; e 3 = $<60^{\circ}$ - 20° e, armazenadas a 8, 10 e 12°C; no 2° estudo, os frutos foram colhidos com coloração verde (°h > 100°) com densidade > 1 g cm⁻³, e < 1 g cm⁻³ e foram submetidos aos tratamentos com e sem etileno nas concentrações de 0 e 1.000 µl L⁻¹ e; no 3º estudo, os frutos foram colhidos com coloração verde (°h: 118 a 120) e densidade < 1 g cm⁻³ e embalados em sacos de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 10, 20 e 40 µm e controle (sem filme). As temperaturas de 10 e 12°C para acerolas 'Flor Branca' e 12°C para acerolas 'Junko', conferiram características de armazenamento favoráveis, resultando em maior qualidade e vida útil para frutos colhidos no estádio de maturação 1 (°h = 140° - 100°). O armazenamento a 8°C e 10°C retardou alterações nos parâmetros de qualidade físico-química e desenvolvimento de podridões, mas aumentou o desenvolvimento de danos por frio nos frutos. Acerolas de coloração verde com densidade < 1 g cm⁻³ apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho. tornando a classificação de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' com densidade < 1 g cm⁻³, um método eficaz como indicador de ponto de colheita de frutos destinados ao consumo in natura. Não foi observado comportamento climatérico em ambas cultivares em resposta ao etileno, visto que, a aplicação exógena de etileno não influenciou na maturação dos frutos. O uso de filme PEBD de 10 µm retardou o amadurecimento dos frutos, resultando na conservação das características físico-químicas e permitiu a mudança de coloração do dos frutos do verde para o vermelho, após a retirada da embalagem. Filmes de PEBD com 20 e 40 µm resultaram na maior incidência de frutos podres e fermentados. Concluise, portanto, que acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' destinadas ao consumo *in natura* devem ser colhidas no estádio de maturação de coloração verde com densidade <1 g cm⁻³, armazenadas a 12°C e embaladas em filmes de PEBD de 10 µm para manter a qualidade após a colheita.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* D.C, Temperatura de armazenamento, Ponto de colheita, Etileno exógeno, Atmosfera modificada, Vida útil.

ABSTRACT

The consumption of fresh acerola is limited due to the high perishability and short life of the fruits after harvest. The acerola tree it is one of the main species cultivated in the San Francisco Valley region. The presented study objective to determine the maturity stage for harvest, the storage temperature, the sensibility to ethylene, as well as, the use of modified atmosphere in the maintenance of the postharvest quality of the acerolas produced in the San Francisco Valley. The varieties 'Flor Branca' and 'Junko' were harvested in commercial orchards in Petrolina, in the state of Pernambuco. On the first study, three stages of maturity were selected according to the angle Hue $1 = 140^{\circ} - 100^{\circ}$; $2 = <100^{\circ} - 60^{\circ}$; e $3 = <60^{\circ} - 20^{\circ}$ and, stored at 8, 10 and 12°C; On the second study, fruits were harvested green color (°h > 100°) with density > 1 g cm⁻³, and > 1 g cm⁻³ and treated with and without ethylene with concentrations of 0 and 1000 µl L-1; On the third study, green toned fruits (°h: 118 a 120) and density of < 1 g cm⁻³ were harvested then packed in low density polyethylene bags (PEBD) with 10, 20 and 40 µm and control (no polyethylene). The temperature of 10° and 12°C for acerolas 'Flor Branca' and 12°C for 'Junko', granted favorable characteristics of storage, keeping the quality and extending the postharvest life of the acerolas harvested at the maturity stage of 1 (oh: 1400 - 1000). Storage at 8°C and 10°C slowed changes in the parameters of physicochemical quality and development of rot, but increased the development of chilling injury in fruits. Greencolored acerolas with density < 1 g cm⁻³ showed a change of coloration from green to red, enabling the classification of the varieties 'Flor Branca' and 'Junko' with density < 1, an effective method as a point of harvest indicador fruits to be eaten fresh. It was not observed behavior climatic breathing activity for both Cultivars in response to the ethylene, considering that the exogenous application of ethylene did not influence the maturity of the fruits. The use of 10 µm LDPE film packages retarded the fruit maturity, resulting in the conservation of the physicochemical characteristics and allowed the transition of the green toned fruits to red toned fruits after the removal of the package. LDPE films with 20 and 40 um resulted in the highest incidence of rotten and fermented fruits. Therefore, it is possible to conclude that the varieties 'Flor Branca' and 'Junko' destinated to the fresh consumption must be harvested at the green coloration maturity stage with density of <1 g cm⁻³, stored at 12°C and packaged in 10 µm PEBD paper-wrap in order to keep the postharvest quality.

Key-words: *Malpighia emarginata* D.C, Storage Temperature, Harvest Point, Exogenous ethylene, Modified atmosphere, Shelf life.

SUMÁRIO

	Pág
1 INTRODUÇÃO	
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 ACEROLA	14
2.1.1 Origem, aspectos botânicos e importância socioeconômica e	
nutricional	14
2.1.2 Variedades	15
2.2 FATORES DE QUALIDADE DA ACEROLA	16
2.2.1 Aspectos gerais	16
2.1.2 Características físicas	17
2.1.2.1 Perda de massa	17
2.1.2.2 Resistência à compressão	18
2.1.2.3 Coloração da epiderme	19
2.1.3 Características físico-químicas e químicas	19
2.1.3.1 Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT	19
2.1.3.2 Compostos bioativos	20
2.1.3.2.1 Ácido ascórbico	20
2.1.3.2.1 Compostos fenólicos	21
2.3 DESENVOLVIMENTO E FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO	22
2.3.1 Atividade respiratória	23
2.3.2 Produção e resposta ao etileno	24
2.3.3 Ponto de colheita da acerola	25
2.4 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO E PROLONGAMENTO DA VIDA ÚTIL	26
2.4.1 Temperatura de armazenamento	26
2.4.2 Atmosfera modificada	27
2.5 INJÚRIA POR FRIO	29
REFERÊNCIAS	32
3. Estádio de maturação e temperatura de armazenamento eficientes na	
manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas	41
RESUMO	41
3.1 Introdução	42

3.2 Material e Métodos	43
3.3 Resultados	46
3.4 Discussão	57
3.5 Conclusões	64
Agradecimentos	64
Referências	64
4. Acerola: fruto climatérico ou não climatérico?	71
RESUMO	71
4.1 Introdução	71
4.2 Material e Métodos	73
4.3 Resultados e discussão	76
4.4 Conclusões	86
Agradecimentos	86
Referências	86
5. Uso de atmosfera modificada para a manutenção da qualidade pós-colheita de	
acerolas	91
RESUMO	91
5.1 Introdução	91
5.2 Material e Métodos	93
5.3 Resultados e discussão	96
5.4 Conclusões	103
Agradecimentos	103
Referências	103
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	109

1. INTRODUÇÃO

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma frutífera de origem tropical e representa uma das principais espécies de frutos produzidos no Vale do São Francisco. O Brasil se destaca no cenário mundial como o primeiro produtor de acerolas (AGRIANUAL, 2010) sendo a região Nordeste responsável por grande parte da produção nacional (FURLANETO; NASSER, 2015; IBGE, 2016). No Submédio do Vale do São Francisco, há cerca de 1.000 hectares cultivados e produção de mais de 6.000 toneladas. ano⁻¹, o que corresponde a mais de 25% da produção nacional (IBGE, 2016).

A comercialização e consumo de acerola *in natura* é limitado por sua alta perecibilidade, apresentando altas taxas respiratórias que são possivelmente responsáveis pela curta vida pós-colheita (ALVES et al., 1995; CARRINGTON; KING, 2002). Por esse motivo, grande parte da produção de acerola é comercializada como polpa congelada ou utilizada para a extração de ácido ascórbico que pode chegar a 5% no suco, representando aproximadamente 80 vezes as concentrações encontradas em frutos cítricos (MACIEL et al., 2004; MEZADRI et al., 2006; ARAÚJO et al., 2009; CUNHA et al., 2014; ANCOS et al., 2016).

O potencial de armazenamento e a qualidade dos frutos para o consumo *in natura* é dependente do estádio de maturação na colheita (BRAMAN; AHMAD; SIDDIQUI, 2015), entre outros fatores. Para acerolas, é bastante difícil determinar o ponto de colheita adequado, já que a desuniformidade na floração provoca a presença de flores e frutos em diversos estádios de desenvolvimento numa mesma planta (EMBRAPA, 2012). No entanto, a definição do estádio de maturação para colheita deve levar em consideração a qualidade dos frutos e o tempo necessário para que cheguem ao mercado consumidor. Frutos colhidos em estádios de maturação pouco avançados possuem maior potencial de armazenamento que aqueles colhidos em estádios de maturação mais avançados (VENDRAMINI; TRUGO, 2000).

O armazenamento sob baixas temperaturas é um dos métodos mais efetivos e práticos utilizados para prolongar a vida pós-colheita de frutos. Baixas temperaturas diminuem a taxa respiratória, a perda de água e retardam o amadurecimento, assim como diminuem a incidência de microrganismos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Dessa forma, minimiza perdas, mantém a qualidade e prolongam a vida pós-colheita dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). No entanto, temperaturas abaixo da temperatura ideal podem causar injúria por frio nos frutos (CRISOSTO; MITCHELL; JU, 1999). Frutos

tropicais são geralmente suscetíveis a injúria por frio (MUSTAFA et al., 2016), que ocasionam uma série de modificações no metabolismo normal dos frutos, reduzindo a sua qualidade (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Temperaturas baixas devem ser testadas para os genótipos de interesse de forma a evitar possíveis perdas por injúrias causadas pelo frio.

O hormônio etileno regula diversos processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento (YAHIA, 2011) e têm sido muito utilizado para acelerar ou uniformizar o amadurecimento de frutos de diversas espécies (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1992). A indução do amadurecimento pelo etileno depende do genótipo, tempo de exposição dos frutos ao hormônio, estádio de maturação, temperatura e umidade relativa do local de armazenamento, assim como da concentração de etileno (REID, 2002).

O uso filmes de polietileno fornece proteção física dos frutos à desidratação, danos mecânicos e contaminação com patógenos (AZEREDO et al., 2012). Apresentam, ainda, efeitos fisiológicos, funcionando como uma barreira à difusão de gases e proporcionando o acúmulo de CO₂ e redução dos níveis de O₂ nos frutos devido à atividade respiratória (MUSTAFA et al., 2013; MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2015; BANDA et al., 2015). O efeito da temperatura de armazenamento, da composição dos gases, dos produtos e o filme são fatores importantes a serem definidos, e avaliar quaisquer interações é necessário, a fim de identificar as melhores embalagens para a manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos (ARVANITOYANNIS; BOULETIS, 2012). Apesar do grande potencial do uso, pouco é conhecido sobre embalagens eficientes na manutenção da qualidade de acerolas (MACIEL et al., 2004; AZEREDO et al., 2012).

Desta forma, para cultivares de acerolas produzidas no Vale do São Francisco, são necessários estudos para desenvolver e identificar técnicas eficientes na preservação da qualidade de frutos destinados ao consumo *in natura*. Assim, o presente estudo teve como objetivos determinar o estádio de maturação para a colheita, a temperatura de armazenamento, a sensibilidade dos frutos ao etileno, bem como, o uso de atmosfera modificada na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas produzidas no do Vale do São Francisco.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ACEROLA

2.1.1 Origem, aspectos botânicos, importância socioeconômica e nutricional

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma frutífera nativa das Ilhas do Caribe, América Central e Norte da América do Sul. No Brasil, foi inicialmente introduzida no estado de Pernambuco, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em 1955, por meio de sementes oriundas de Porto Rico, difundindo-as para todo o Nordeste e outras regiões do país (RITZINGER; RITZINGER, 2011). A aceroleira é uma planta de clima tropical, no entanto, pode adaptar-se bem em regiões de clima subtropical. Em temperaturas médias de 26°C com chuvas variando entre 1200 e 2000 mm, bem distribuídas ao longo do ano, apresentam um melhor desenvolvimento (KAWATI, 1995; ALVES; MENEZES, 1995). O cultivo da acerola, no cenário nacional, apresentou um acelerado crescimento nos últimos 30 anos, com o aumento da procura por alimentos naturais, teve um grande impulso no seu consumo, principalmente por se destacar como uma excelente fonte de ácido ascórbico (MOURA et al., 2007).

A aceroleira é uma planta arbustiva de hábito de crescimento prostrado ou ereto e tamanho médio de 2 a 3 metros de altura. Espécie predominantemente alógama com grande variabilidade fenotípica, a aceroleira possui floração durante todo o ano, na qual a formação do fruto ocorre rapidamente, entre 22 e 25 dias. Os frutos são drupas tricarpeladas, de coloração verde, passando pelo amarelo-alaranjado e chegando ao vermelho ou escarlate quando maduros, a depender da cultivar; possuem formato redondo, oval ou achatado, com diâmetro de 1 a 3 centímetros e peso entre 3 e 16 g. Os frutos possuem epicarpo (casca) fino, mesocarpo (polpa) carnoso, suculento, azedo ou sub-ácido, e endocarpo de três caroços triangulares, dando ao fruto um aspecto mais ou menos trilobado (SIMÃO,1971; MARINO NETTO,1986).

O cultivo de acerola tem despertado o grande interesse por parte dos produtores e consumidores no mundo inteiro, seja para consumo *in natura*, ou utilização de subprodutos (ALVEZ; MENEZES, 1995; GOMES, et al., 2000). No entanto, a ausência de boas práticas no manuseio, transporte, estocagem, bem como, associado à alta perecibilidade e falta de infra-estrutura para o processamento e conservação pós-colheita, são responsáveis por elevadas perdas de até 30% da produção (MARANHÃO, 2010).

O Brasil se destaca no cenário mundial como o primeiro produtor de acerolas, com uma produtividade de 29,65 t ha⁻¹ ano⁻¹, que equivalente a 59,3 kg planta⁻¹ ano⁻¹ (AGRIANUAL, 2010). Existem plantios comerciais de acerola em quase todos os estados brasileiros. No entanto, a região Nordeste merece destaque por ser responsável por grande parte da produção nacional. Entre os estados produtores destacam-se Pernambuco, Ceará, São Paulo e Bahia, que juntos respondem por 60% da produção nacional com 15.853 toneladas produzidas anualmente (CODEVASF, 2003; RITZINGER; RITZINGER, 2011; FURLANETO; NASSER, 2015; IBGE, 2016). A principal mesorregião produtora de acerola do país é o polo de fruticultura irrigada Petrolina-Juazeiro com área de cultivo de cerca de 1.000 hectares, é responsável pela produção de mais de 6.000 t ano⁻¹, o que corresponde a mais de 25% da produção nacional (IBGE, 2016). Uma demanda crescente do mercado externo, fez com que a aceroleira tenha ganhado espaço em pomares comerciais de pequenos e médios portes no Brasil. A importância econômica da aceroleira, bem como, sua relevância social, têm aumentado com os anos, pois exige a presença constante do agricultor nas áreas de cultivo e reguer mão de obra em grande escala, propiciando a fixação do homem no campo (SOUZA, 2007).

A acerola é rica em substâncias bioativas, como o ácido ascórbico e carotenóides; vitaminas, como a tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3); pectina, fibras, proteínas e sais como o ferro, cálcio e fósforo (ASSIS et al., 2008). Os compostos bioativos conferem à acerola propriedades antioxidantes. Polifenóis foram identificados como agentes na alteração de cor da epiderme da acerola (SANTINI; HUYKE, 1956). Entre os polifenóis avaliados em acerola, antocianinas e flavonóides amarelos são os mais abundantes (SOUZA et al., 2014). A acerola apresenta grande potencial para a industrialização podendo ser utilizada na fabricação de sucos (integral, concentrado e liofilizado), como agente enriquecedor junto a outras frutas na produção de saches de frutas, néctares, assim como iogurtes, refrigerantes, geléias, sorvetes, produtos de panificação e vendidos como nutracêuticos (MEZADRI et al., 2006; MACIEL et al., 2009).

2.1.2 Variedades

A acerola apresenta grande variabilidade genética com diferenças marcantes no tamanho do fruto, coloração da casca e da polpa, composição físico-química, suculência, textura, aroma e sabor (RITZINGER; SOARES FILHO, OLIVEIRA, 2003). As cultivares de aceroleira são, sobretudo, "variedades monoclonais", desenvolvidas a partir da seleção, clonagem e avaliação de plantas individuais. Em geral, são plantas que exibem

características fenotípicas distintas em áreas de cultivo comercial ou experimental e, assim, são coletadas e passam a ser propagadas vegetativamente em maior escala. Atualmente, as principais variedades cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco são: Junko, Flor Branca, BRS Sertaneja, Costa Rica, Okinawa e BRS Cabocla (EMBRAPA, 2012).

Entre os genótipos em estudo, a 'Junko' caracteriza-se por ser uma planta robusta, de porte médio. Os frutos são de tamanho médio, cor púrpura, com casca levemente irregular, com algumas saliências e depressões longitudinais. A polpa é bastante firme, suportando parte dos danos mecânicos resultantes do manuseio e do transporte. Possui boa conservação pós-colheita, permanecendo com aspecto comercial por mais de 15 dias, quando armazenada a 12°C. Caracteriza-se por sabor ácido devido ao alto teor de ácido ascórbico, que geralmente é superior a 2,5%, nos frutos maduros. A cultivar Junko foi desenvolvida pela Nichirei Pesquisas Agrícolas Ltda. - Niquisa, empresa do grupo Niagro (Nichirei Agrícola do Brasil) (SOUZA et al., 2013).

A cultivar Flor branca é proveniente de seleção genética realizada no Estado do Pará e difundida pela Niquisa, empresa do grupo Niagro. Uma planta de menor porte, bastante sensível a estresses abióticos. Sob irrigação, pode produzir flores durante o ano inteiro, de modo que, entre as cultivares plantadas no Submédio do Vale do São Francisco, é a que apresenta maior regularidade de produção. Apresenta frutos pequenos (cerca de 5 g) com coloração vermelha, quando maduros. A consistência da polpa é muito delicada, causando rápida deformação dos frutos, liberando seu conteúdo aquoso. Por esse motivo, são muito suscetíveis a danos durante o manuseio e o transporte e têm uma curta conservação pós-colheita. Apresenta teor de ácido ascórbico de aproximadamente 1,5% nos frutos maduros (SOUZA et al., 2013; FIGUEIREDO NETO et al., 2014).

2.2 FATORES DE QUALIDADE DA ACEROLA

2.2.1 Aspectos gerais

A qualidade de um fruto não é uma particularidade bem definida e sim, um conjunto de muitas propriedades ou aspectos do produto. A qualidade engloba propriedades sensoriais (aparência, firmeza, sabor, aroma); valor nutritivo e funcional, provenientes dos compostos químicos; propriedades mecânicas, com a ausência ou presença de defeitos. A qualidade dos frutos antes da colheita, bem como o conteúdo de compostos químicos, depende de fatores intrínsecos, como gênero, espécie e cultivar, e extrínsecos, como do

tipo de solo, irrigação, nível de luz solar, espaçamento e manejo no controle de pragas e doenças (TOMÁS-BARBERÁN; ESPÍN, 2001; MOHAMMED, 2011). A qualidade pode mudar com o armazenamento, a comercialização e a utilização do produto final (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A composição química da acerola depende de todos os fatores citados, bem como do estádio de maturação do fruto. A concentração de ácido ascórbico e outras características atribuídas à qualidade da acerola, como a cor da epiderme, peso e tamanho dos frutos, teor de sólidos solúveis e pH da polpa, são afetados pela desuniformidade genética dos pomares, por fatores edáficos, manejo da cultura e ocorrência de pragas e doenças (NOGUEIRA et al., 2002). A aplicação de medidas adequadas de técnicas e tratamentos pós-colheita é importante para manter a qualidade, em termos de aparência, textura, sabor e valor nutritivo, para manter a segurança alimentar e reduzir as perdas na cadeia de suprimentos e consequentemente prolongar a vida pós-colheita (ARPAIA; HOFSHI, 1998).

2.1.2 Características físicas

2.1.2.1 Perda de massa

As determinações das características físicas de frutos, como massa, forma, rendimento e coloração, entre outras, não só auxiliam no estabelecimento do grau de maturação e do ponto ideal de colheita, como refletem os padrões de qualidade de aceitação do produto pelo consumidor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A massa de um fruto está relacionada linearmente com o seu grau de desenvolvimento e/ou amadurecimento, exceto quando se encontra em estádio avançado de maturação, quando apresenta tendência a perder massa fresca em decorrência do maior teor de umidade e de maior permeabilidade da casca (KAYS, 1997).

A perda de massa que acontece no armazenamento dependerá, dentre outros fatores, do tipo, tamanho, composição, estrutura e temperatura do fruto e, ainda, da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de armazenamento. No entanto, nem toda perda de massa dos frutos é decorrente apenas da perda de água. A respiração também contribui. No processo de respiração, a água formada torna-se parte do teor de água das células, podendo ser usada na hidrólise de amido ou de outras substâncias, causando a perda de matéria seca (SILVA; FINGER; CORRÊA, 2000). No processo respiratório, açucares e ácidos são degradados, gerando CO₂ que é emitido pelos frutos

para a atmosfera, o que também resulta na perda de massa (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007).

2.1.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é um dos atributos mais importantes utilizados para avaliar a qualidade de muitas frutas (GARCIA; MARTINÓ; ZARITZKY, 1998; MDITSHWA; MAGWAZA; TESFAY, 2017). Durante o armazenamento, a redução da resistência à compressão de frutos é um processo resultante de mudanças a nível morfológico e celular, como separação de componentes da parede celular e da redução da pressão de turgor, que decresce devido ao acúmulo de solutos na parede celular contribuindo para as mudanças texturais (PONCE et al., 2010). A redução da firmeza de um fruto é atribuída à atividade das enzimas hidrolíticas, tais como а poligalacturonase (PG) pectinametilesterase (PME), que promove uma solubilização intensa de pectina, resultando em redução da resistência com a maturidade (SILVA et al., 2009). A enzima PME tem ação sobre pectinas esterificadas (AWAD, 1993; GOMEZ-LIM, 1997). A enzima PG tem ação na liberação de unidades do ácido galacturônico das pectinas e, consequentemente, diminuindo a resistência do fruto (AWAD, 1993). Estudos indicam que a atividade de PMEs facilitam a atividade das PGs na parede celular de frutos.

Alguns estudos demonstraram que a pressão turgor celular é importante para determinar a resistência de frutos (VICENTE, et al., 2007). Em tomate, foi evidenciado declínio no turgor celular aproximadamente paralelo à perda de resistência com a maturidade (SHACKEL, et al., 1991). Entretanto, a redução no turgor não é uma consequência de perda da integridade da membrana. Durante a maturação, é mais provável que ocorra devido ao acúmulo de solutos (açúcares, ácidos orgânicos, íons, etc.) no apoplasto (ALMEIDA; HUBER, 1999). Alternativamente, a regulação da transpiração da água no amadurecimento de frutos pode representar uma estratégia importante para prolongar a resistência (VICENTE, et al., 2007). A redução resistência dos frutos, do pomar até o consumidor caracteriza-se como um dos principais problemas enfrentados em pós-colheita (MDITSHWA et al., 2017). Estudos mostram que acerolas são mais resistentes na maturação verde, com notável decréscimo quando maduras. Variedades com pouco volume de polpa, como a Flor Branca e Sertaneja, exibem maior rigidez, com valores superiores de resistência mesmo maduras, comparadas com acerolas de maior volume de polpa (FIGUEIREDO NETO et al., 2014). A firmeza permite a obtenção de

dados sobre a resistência e consistência do tecido, através da compressão do fruto, um indicador da vida útil pós-colheita para frutos como a acerola (MOURA et al., 2007).

2.1.2.3 Coloração da epiderme

A coloração é, geralmente, uma das características de qualidade mais atrativas para o consumidor e o impacto visual causado por ela é fator predominante na tomada de decisão para o consumo de frutos (BRUNINI et al., 2004; SILVA, 2007). O valor de mercado das frutas está intimamente associado à pigmentação ou cor do fruto. Para cultivares de acerolas maduras com coloração vermelho-escura, quanto maior o teor de antocianinas, melhor aceitação do produto por parte do consumidor, que é atribuído à alta aceitabilidade visual por frutos coloridos (LIMA et al., 2003; MDITSHWA MAGWAZA; TESFAY, 2017).

A alteração de cor da epiderme dos frutos está relacionada com amadurecimento, e representa característica padrão, juntamente à firmeza, para a determinação da qualidade comestível, sendo ambos usados, como indicadores de estádio de maturação (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

As mudanças de cor da epiderme dos frutos variam intensamente com as espécies e mesmo entre cultivares (COLLINS; PLUMBLY, 1995). A coloração de frutos se deve aos pigmentos naturais existentes, sendo os três tipos mais comuns nos vegetais: a clorofila, os carotenóides e as antocianinas. A variação na cor entre as cultivares de uma mesma espécie é usualmente devida às diferenças nas quantidades desses pigmentos (SOUZA, 2007; KAYS, 1997). A coloração comercial da acerola madura pode variar entre cultivares, indo do amarelo-alaranjado ao vermelho-escuro (LIMA et al., 2003).

2.1.3 Características físico-químicas e químicas

2.1.3.1 Sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT

As propriedades organolépticas de diferentes frutos estão fortemente relacionadas aos teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e a relação SS/AT (MAGWAZA; OPARA, 2015). É comumente conhecido que ocorre a perda de acidez com o amadurecimento dos frutos. O teor de SS é utilizado como uma medida indireta do conteúdo de açúcares, pois seu valor aumenta à medida que a concentração de açúcares aumenta no fruto. Apesar de os açúcares representarem aproximadamente 85 a 90% do

SS, outras substâncias também se encontram dissolvidas no suco como vitaminas, fenólicos, pectinas, ácidos orgânicos, entre outras (CHITARRA; ALVES, 2001).

Aumento do SS e redução da AT resulta em aumento na razão SS/AT, a qual está associada à aceitação dos frutos pelo consumidor e é altamente influenciado pelo genótipo (FIGUEIREDO, 2000). Estudos mostram que acerolas de cor verde e maduras podem apresentar razões de SS/AT de 3,18 e 10,49, respectivamente, evidenciando melhor aceitação dos frutos pelos consumidores durante o processo de amadurecimento (NASSER; ZONTA, 2014).

2.1.3.2 Compostos bioativos

Os alimentos funcionais ou nutracêuticos contêm os chamados compostos bioativos, ou seja, os elementos que são capazes de atuar diretamente na prevenção e no tratamento de doenças. A importância funcional desses compostos na saúde humana tem levado inúmeros pesquisadores a realizarem estudos buscando determinar as concentrações destes compostos nos alimentos e em especial nos frutos como acerolas (MELO et al., 2006).

2.1.3.2.1 Ácido ascórbico

O ácido L-ascórbico (AA), também conhecido como vitamina C, é o principal composto biologicamente ativo, mas ácido L-dehidroascórbico (DHA), produto da oxidação, exibe atividade biológica semelhante (LEE; KADER, 2000). Alguns frutos tropicais como a acerola e camu-camu fornecem alto teor de AA a baixo custo (ALBERTINO et al., 2009). O AA é um composto solúvel em água e muito sensível à degradação quando o produto vegetal está sujeito a condições de manipulação adversas (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

A perda de ácido ascórbico ocorre pela conversão irreversível do ácido L-dehidroascórbico em ácido 2,3-diceto-L-gulônico, o qual é posteriormente metabolizado. Sua formação é praticamente instantânea em pH alcalino, rápida em pH neutro e lenta em condições ácidas. Por esta razão, o AA possui boa estabilidade em frutos cítricos (COULTATE, 2004; CHITARRA; CHITARRA, 2005; JACOMINO et al., 2008).

O teor de AA diminui com o amadurecimento dos frutos. Genótipos de acerola apresentam redução no teor de AA com o avanço da maturação, onde acerolas com coloração verde podem apresentar 3% de AA, enquanto que frutos maduros podem

apresentar 1,5% de AA (ADRIANO; LEONEL; EVANGELISTA, 2011; NASSER; ZONTA, 2014). Com as mudanças do metabolismo antioxidante durante o amadurecimento de acerolas Flor Branca, Flórida Sweet e BRS 366, observou-se redução nas concentrações de AA de mais de 40% durante a maturação, apresentando valores entre 1,3 e 0,8% na polpa dos frutos maduros (SOUZA et al., 2014).

Em estudos com algumas frutas tropicais cultivadas no Brasil, observou-se que a alta capacidade antioxidante de acerola estava positivamente relacionada com o elevado teor de AA e fenóis (RUFINO et al., 2006).

2.1.3.2.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são agrupados em flavonóides e não flavonóides (ácidos fenólicos e cumarinas). Exemplos de fenólicos não flavonóides são o resveratrol, encontrado em uvas e no vinho, o ácido elágico, encontrado em caqui e romã, e o ácido clorogênico, encontrado em café, kiwi, maçã e nas pequenas frutas. Os principais flavonóides incluem as antocianinas, flavonas, isoflavonas, flavanonas, flavanóis (catequinas) e as proantocianidinas (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os compostos fenólicos são os maiores responsáveis pela atividade antioxidante em frutos, tornando-os uma fonte natural de antioxidantes. A acerola destaca-se como uma boa fonte de compostos fenólicos, sendo encontradas quantidades consideráveis de flavonóides (antocianinas, antocianidinas, flavonóis) e ácidos fenólicos, dentre outros compostos (LIMA, et al., 2005; LIMA et al., 2006).

Os flavonóis possuem coloração branca ou amarela clara e geralmente acompanham as antocianinas em frutos, provavelmente porque apresenta rotas de biossíntese semelhantes, além de atuarem na co-pigmentação das antocianinas (MELO et al., 2006). As antocianinas são pigmentos fenólicos solúveis em água, pertencentes à classe dos flavonóides, responsáveis pelas variações entre laranja, vermelho e azul, exibidas pelas frutas, hortaliças, flores, folhas e raízes (LIMA et al., 2006).

Acerolas possuem antocianinas e flavonóides amarelos como polifenóis mais abundantes, apresentando elevação no teor de antocianinas com o amadurecimento (SOUZA et al., 2014). Para acerolas de casca amarela são encontradas elevadas concentrações de carotenóides que conferem a coloração do fruto (MEZADRI; PÉREZ-GÁLVEZ; HORNERO-MÉNDEZ, 2005). Estudos mostram que acerolas 'Flor Branca' possuem 12,37 mg 100 g⁻¹ de antocianinas e 9,82 mg 100 g⁻¹ de flavonóides amarelos

quando completamente maduras, enquanto que outros genótipos exibiram concentrações inferiores dos respectivos compostos fenólicos (SOUZA et al., 2014).

2.3 DESENVOLVIMENTO E FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO DO FRUTO

Uma compreensão do manejo pós-colheita de plantas hortícolas exige uma compreensão de que frutos e hortaliças são estruturas vivas. Mesmo após a colheita, as reações metabólicas continuam, mantendo os sistemas fisiológicos que estavam presentes quando o fruto era ligado à planta. Após a colheita, ocorrem perdas de carboidratos através do processo respiratório, desencadeando o início da deterioração, o que torna os frutos e hortaliças perecíveis (WILLS; GOLDING, 2016). O ciclo de desenvolvimento de um fruto pode ser divido em quatro fases fisiológicas: (1) crescimento, (2) maturação, (3) amadurecimento e (4) senescência. Entretanto, não existe distinção clara entre as fases.

O desenvolvimento que compreende a formação, crescimento e maturação das plantas e seus órgãos é responsável por uma série de mudanças em processos fisiológicos e bioquímicos geneticamente programados, resultando na senescência e morte celulares. O crescimento é uma parte do desenvolvimento onde ocorre acúmulo de carboidratos e água, a divisão e expansão celular, o que define o tamanho final do fruto (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A maturação começa geralmente após o crescimento e inclui modificações químicas nos frutos (CORRÊA et al., 2000). As principais mudanças que acontecem na maturação são o aumento de volume, desenvolvimento de sementes, mudanças de cor, alterações de taxas respiratórias, textura, produção de etileno, alterações na permeabilidade dos tecidos, mudanças químicas nos carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas, fenólicos, pigmentos e pectina, bem como, produção de substâncias voláteis. O amadurecimento, termo reservado aos frutos, é geralmente considerado como iniciando durante os estágios posteriores de maturação e a primeira fase da senescência, nesta etapa do ciclo os produtos tornam-se atrativos e aptos para consumo (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Acerolas exibem um padrão de crescimento bifásico, com período de maior aumento em tamanho do fruto até os 14 dias após a antese, e segunda fase limitada de crescimento nos 10 dias subseqüentes. Frutos imaturos de tamanho natural, apresentaram cor creme na extremidade distal cerca de 18 dias após a antese, constatando que os frutos neste estádio não amadurecem quando colhidos. Desta forma, a mudança de cor é um índice útil para determinar a maturidade dos frutos. Aos 20 dias

após a antese, os frutos mudaram para uma cor pêssego e aos 22 dias tornaram-se vermelho-alaranjado (CARRINGTON; KING, 2002). Isto é comparável com o período de desenvolvimento de 21 a 25 dias do fruto da acerola, em que as alterações na cor da epiderme se correlacionam com alterações químicas no fruto (MIYASHITA et al., 1964; YAHIA, 2011). Como última etapa fisiológica, a senescência é definida como o período quando os processos bioquímicos anabolizantes (sintéticos) dão lugar a processos catabólicos (degradativos), levando ao envelhecimento e, finalmente, à morte do tecido (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.3.1 Atividade respiratória

A respiração é o processo de degradação oxidativa de substâncias mais complexas, como amido, açúcares e ácidos orgânicos, em moléculas mais simples como o dióxido de carbono e água, com a produção de energia. A respiração pode ocorrer na presença de oxigênio (respiração aeróbia) ou na ausência de oxigênio (respiração anaeróbia, ou fermentação) (WILLS; GOLDING, 2016). Segundo estes autores, a taxa de respiração dos produtos é um excelente indicador da atividade metabólica do tecido e, portanto, é um guia útil para determinar o potencial de armazenamento de um determinado produto.

A perda de reservas armazenadas no fruto durante a respiração acelera a senescência, bem como, as reservas que fornecem energia para manter a vida vão sendo esgotadas. Isto reduz o valor alimentar (valor energético) para o consumidor, causando perdas quantitativas e qualitativas nos frutos (REID, 2002a).

Em função do padrão respiratório, os frutos podem ser classificados em climatéricos e não-climatéricos. Os frutos climatéricos são aqueles que possuem um aumento na respiração e produção de etileno durante o processo de amadurecimento. Frutos não climatéricos não apresentam tal padrão de respiração e produção de etileno. Frutos não-climatéricos apresentam atividade respiratória que em geral declina após a colheita, não sendo capazes de amadurecer quando colhidos imaturos. Por esse motivo, devem ser colhidos somente quando atingirem a maturidade comestível ou comercial (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Frutos climatéricos, em determinada etapa do seu ciclo vital, apresentam rápido e acentuado aumento na atividade respiratória, culminando com o amadurecimento imediato. Estes frutos podem amadurecer na planta ou fora dela, se colhidos na maturidade fisiológica.

Estudos sugerem que as condições do padrão respiratório de acerolas exibem respostas climatéricas, com o aumento da respiração à medida que os frutos ficam laranja-vermelhos, atingindo o pico da taxa respiratória cerca de 3 dias após a colheita. A evolução do etileno segue um padrão semelhante com o pico climatérico ocorrendo dois a quatro dias após a colheita. No entanto, as taxas de produção de etileno são consideradas relativamente baixas quando comparadas com outros frutos climatéricos. As altas taxas respiratórias observadas em acerola são possivelmente responsáveis pela curta vida pós-colheita dos frutos (ALVES et al., 1995; CARRINGTON; KING, 2002).

2.3.2 Produção e resposta ao etileno

O etileno é um hormônio vegetal que regula diversos processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1992; YAHIA, 2011a). Este hormônio é amplamente conhecido pelo seu papel na regulação do amadurecimento de frutos (GIOVANNONI, 2001). A via de biossíntese do etileno compreende a conversão da S-adenosil metionina em ácido 1-carboxílico-l-aminociclopropano (ACC), sob a ação da ACC sintetase, e a conversão do ACC em etileno, pela ação da enzima ACC oxidase (CHAVES et al., 1997).

A síntese do etileno é fortemente estimulada por fatores exógenos como as infecções fúngicas, bacterianas e/ou virais, injúria por frio e danos mecânicos, estresses térmicos e hídricos, além da resposta autocatalítica, bem como, no amadurecimento de frutos climatéricos e senescência de flores (KENDE, 1993; ZAREMBINSKI; THEOLOGIS, 1994; LATCHÉ et al., 1995; PECH et al., 1995). Na maioria dos frutos, concentrações de etileno fisiologicamente ativo nos espaços intercelulares precedem o aumento na taxa respiratória. No entanto, um suprimento exógeno de etileno desencadeia o processo de amadurecimento em frutos imaturos, induzindo o processo autocatalítico de sua síntese (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O aumento na síntese de etileno é um evento que marca o início do amadurecimento de frutos climatéricos. Em muitos tecidos vegetais, o tratamento com etileno resulta na rápida perda de clorofila e coloração verde de folhas e frutos. As concentrações requeridas de etileno para o amadurecimento de diversos frutos variam de 0,1 a 1 µl L⁻¹. O tempo de exposição para iniciar o amadurecimento completo pode variar, mas para frutos climatéricos a exposição por 12 a 24 horas é geralmente suficiente. No

entanto, o amadurecimento completo pode demorar vários dias após o tratamento com etileno.

A eficácia para o amadurecimento com o uso do etileno é alcançado mais rápido a depender dos tipos de frutos a serem tratados, sua maturidade, a temperatura e umidade relativa do local de armazenamento, concentração de etileno, e duração da exposição ao gás (REID, 2002b). Em tecidos verdes, o etileno geralmente estimula a senescência, como indicado pela perda de clorofila, perda de proteína e susceptibilidade a dessecação e decomposição (REID, 2002b). Em contraste, Fox et al., (2005) relataram que frutos colhidos sem sinais de degradação de clorofila não respondem à aplicação do etileno como promotor da maturação.

2.3.3 Ponto de colheita da acerola

A maturidade na colheita é o fator mais importante que determina a vida útil e qualidade final dos frutos. Frutos colhidos antes da maturidade fisiológica, ou muito maduros são mais suscetíveis a desordens fisiológicas e têm uma vida de armazenamento mais curta do que aqueles colhidos na maturidade adequada (YAHIA, 2011b).

Para as acerolas, é bastante difícil determinar o ponto de colheita adequado com base na floração, já que a desuniformidade na floração provoca a presença de flores e frutos em diversos estádios de desenvolvimento numa mesma planta (EMBRAPA, 2012). O fator que determina o ponto de colheita é o destino pretendido aos frutos. Frutos destinados ao processamento podem ser colhidos com coloração vermelho intensa, porém ainda firmes para suportar o manuseio. É neste estádio que o fruto apresenta maior teor de açúcares e baixa acidez. No entanto, no estádio de maturação vermelho a concentração de ácido ascórbico em acerolas é reduzida, porém, ainda supera cerca de 20 a 30 vezes os teores da vitamina em frutos cítricos, conhecidos por serem ricos em ácido ascórbico (RITZINGER; RITZINGER, 2011).

Quando o destino é a extração de ácido ascórbico, para fabricação de produtos em pó, cápsulas, concentrados para o enriquecimento de outros alimentos, os frutos de acerola podem ser colhidos no início da maturação com coloração da epiderme verde, verde-amarelado ou com início da pigmentação vermelha (NEVES, 2007). No entanto, para o consumo *in natura* não há um estádio de maturação definido para a colheita de acerolas. Apesar da maior parte da produção de acerola destinar-se ao setor industrial,

por ser um fruto muito perecível, os estudos em pós-colheita com o objetivo de garantir alta qualidade dos frutos para os consumidores são de grande importância. A falta de boas práticas no manuseio, transporte, armazenamento, bem como, associada à alta perecibilidade e falta de infra-estrutura para seu processamento e conservação, são fatores responsáveis por elevadas perdas, chegando a atingir 30% da produção (COELHO; RITZINGER; OLIVEIRA, 2003; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.4 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO E PROLONGAMENTO DA VIDA ÚTIL

Após a identificação do estádio ideal de maturação para a colheita, a definição dos métodos de armazenamento é de extrema importância para garantir a manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos (MOLINARI, 2007). A conservação da qualidade pós-colheita baseia-se na combinação adequada de certas condições, de forma a tornar e ou manter as condições intrínsecas e extrínsecas desfavoráveis às perdas qualitativas e quantitativas nos frutos (PINTO, 2010).

2.4.1 Temperatura de armazenamento

O armazenamento sob baixas temperaturas é um dos métodos mais efetivos e práticos utilizado para prolongar a vida pós-colheita de frutos. Baixas temperaturas diminuem a taxa respiratória, a perda de água e retardam o amadurecimento, assim como diminuem a incidência de microrganismos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

O metabolismo envolve muitas reações enzimáticas, aos quais aumentam progressivamente com o aumento da temperatura, dentro da faixa de temperatura fisiológica. Esta relação tem sido descrita matematicamente pelo uso do Quociente de temperatura ou Lei de Vant' Hoff (Q10), que determina para cada aumento de 10°C na temperatura, existe um aumento de duas a três vezes a velocidade das reações metabólicas do produto vegetal (WILLS; GOLDING, 2016). Dentro da variação fisiológica de cada espécie, a taxa respiratória, normalmente aumenta com a elevação da temperatura, principalmente entre a faixa de 5° a 20°C (WILLS et al., 1999). Em temperaturas acima de 40°C, a taxa respiratória geralmente diminui, ocorrendo morte dos tecidos devido a desnaturação de proteínas e efeitos negativos em diversos processos vitais (HARDENBBURG; WATADA; WANG,1986).

Apesar dos efeitos benéficos no aumento da vida pós-colheita de frutos, temperaturas abaixo da ideal podem causar injúrias por frio nos frutos. Cada genótipo

possui uma temperatura ideal de armazenamento e frutos de uma mesma espécie, porém de cultivares diferentes, podem apresentar temperaturas ideais de armazenamento diferentes (CRISOSTO; MITCHELL; JU,1999).

Para acerola *in natura*, estudos sugerem temperaturas de armazenamento de 5°C a 15°C, dependendo do genótipo (MACIEL et al., 2004; ARAÚJO et al., 2009). Condições de armazenamento entre 5,5 e 8°C para acerolas *in natura* em diferentes estádios de maturação, viabilizou conservação por um período de até 20 dias (CARVALHO; MANICA, 1994). Entretanto, temperaturas baixas devem ser testadas para os genótipos de interesse de forma a evitar possíveis perdas por injúrias causadas pelo frio. Condições ambientais de crescimento e desenvolvimento podem afetar a capacidade de armazenamento de um determinado genótipo. Frutos produzidos em altos níveis de irradiação geralmente possuem maiores teores de matéria seca e açucares solúveis que proporcionam menor potencial osmótico dos tecidos e aumentam a resistência dos frutos ao congelamento, possibilitando o armazenamento em temperaturas mais baixas e mais eficientes na preservação da qualidade pós-colheita (MORETTI et al., 2010).

As temperaturas e períodos de armazenamento para um determinado produto diferenciam-se de acordo a cultivar, estação e maturação na colheita, o que podem apresentar diferentes respostas fisiológicas e metabólicas resultando em variações na temperatura ótima de armazenamento. Desta forma, as condições ideais de armazenamento para um determinado genótipo produzido em um determinado ambiente precisam ser definidas para reduzir perdas após a colheita (WILLS; GOLDING, 2016).

2.4.2 Atmosfera modificada

A atmosfera modificada (AM) consiste em modificar a concentração da atmosfera em torno de um produto embalado para atingir o nível adequado de gases, principalmente níveis baixos de O₂ e níveis moderados de CO₂, que resultam na diminuição da intensidade dos processos bioquímicos de amadurecimento e senescência, bem como da atividade e ação de microorganismos, mantendo as propriedades de qualidade e a segurança microbiológica do produto por um período de tempo mais longo (GORRIS; TAUSCHER, 1999; MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2015; BANDA et al., 2015).

A modificação dos níveis de gás no espaço das embalagens é uma conseqüência da combinação entre o consumo de O₂ e produção de CO₂ no processo respiratório e as trocas gasosas que ocorrem através da embalagem (MAHAJAN et al., 2007;

CASTELLANOS et al., 2016). As condições de AM podem ser criadas de forma ativa ou passiva (LEE; ARUL, 1996). AM ativa é baseada no deslocamento ou a substituição de gases na embalagem, ou a utilização de absorvente para estabelecer uma mistura desejada de gases, enquanto a AM passiva é baseada na utilização de um filme de embalagem específico, no qual se desenvolve uma atmosfera naturalmente devido à respiração dos produtos e à difusão de gases através do filme.

A taxa à qual o produto embalado consome O₂ e produz CO₂ e etileno através do metabolismo devem ser adequadamente descritas para obter níveis favoráveis de gases no sistema de AM e, por conseguinte, determinar a permeabilidade exigida pela embalagem para equilibrar esses processos e atingir o nível de equilíbrio. Se o equilíbrio entre as reações metabólicas e a permeabilidade não é adequada para a obtenção da atmosfera modificada, então a vida útil pode ser reduzida em vez de estendida (MANGARAJ et al., 2014; CASTELLANOS et al., 2016). Além da modificação dos gases, a AM melhora a retenção de umidade, o que pode ter uma maior influência na preservação da qualidade do que os níveis de O₂ e CO₂ (KADER, 1997; MAHAJAN et al., 2007; SHENGMIN, 2009).

Os filmes que compõem a embalagem são selecionados para características de permeabilidade específicas e mudanças nestas características ao longo do tempo, temperatura e umidade (MAHAJAN et al., 2007). A espécie, cultivar, práticas culturais, época de desenvolvimento, modo de colheita e tipo de tecido contribuem e influenciam a resposta do material para a atmosfera gerada (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009).

O efeito da temperatura de armazenamento, da composição dos gases, dos produtos e o filme são fatores importantes a serem definidos, e avaliar quaisquer interações é necessário, a fim de obter os melhores resultados de embalagens de atmosfera modificada (ARVANITOYANNIS; BOULETIS, 2012),

Os compostos poliméricos são os principais materiais para estruturas flexíveis de embalagens usadas para AM, mas também podem ser aplicados a uma solução de embalagem rígida ou semi-rígida. O polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PBDL), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliéster, polietileno tereftalato (PET), cloreto de polivinilideno (PVDC) e poliamida (Nylon) são alguns dos filmes utilizados para obtenção de AM (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009). A escolha do material de embalagem ideal para cada produto depende de vários fatores, como a forma da embalagem, as taxas de

transmissão de O₂, CO₂ e vapor de água, as características físicas do filme (clareza, durabilidade, capacidade de alongamento, etc.), a capacidade de vedação a quente, propriedades de vedação, resistência a fatores químicos, ausência de toxicidade e interação com o produto e ainda, o custo e adequação comercial (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009).

Durante o armazenamento, os frutos acondicionados em filmes plásticos alteram todo o seu metabolismo, devido a estas películas funcionarem como uma barreira para a movimentação do vapor da água, garantindo desta maneira, a manutenção da umidade relativa elevada no interior da embalagem e a turgidez dos produtos (ZAGORY; KADER, 1988). Desta forma, os filmes plásticos reduzem a perda de massa dos frutos, retardando o amadurecimento e a elevação das taxas respiratórias, assim como reduzem a produção de etileno e atrasa a perda da firmeza e várias outras transformações bioquímicas como a degradação da clorofila e a síntese de carotenóides (WANG; SUGAR, 2013; COLGECEN; ADAY, 2015; SELCUK; ERKAN, 2015).

Embora a aplicação comercial de AM tenha se tornado técnica muito comum (TOIVONEN; BRANDENBURT; LUO, 2009), a sua utilização ainda é muito desafiadora e complicada devido ao fato dos produtos embalados estarem vivos após a colheita e durante a comercialização. Logo, o uso da AM basear-se-ão não só nas propriedades específicas de permeação de O₂ e CO₂, mas também sobre a atividade respiratória dos produtos embalados (KADER, 1986; JAYANTY et al., 2005).

Para acerolas *in natura*, estudos sugerem que o uso de filme PVC aumenta a vida útil dos frutos, embora não afete a perda de ácido ascórbico com o método de conservação (ALVES; CHITARRA; CHITARRA, 1995; ARAÚJO et al., 2009). Em contraste, Maciel et al., (2004) relatam que o uso de biofilme de fécula de mandioca e refrigeração conservou maior teor de ácido ascórbico e estendeu a vida útil de acerolas em estádio de maturação pouco avançado, mantendo a qualidade aceitável por um período de até 15 dias. Neste sentido, apesar do grande potencial do uso de embalagens de AM, pouco é conhecido sobre quais são os principais materiais que podem ser utilizados para acerolas (MACIEL et al., 2004; AZEREDO et al., 2012).

2.5 INJÚRIA POR FRIO

A conservação de produtos vegetais a baixas temperaturas pode acarretar uma série de problemas fisiológicos, os quais se tornam visíveis após o prolongamento do armazenamento, ou após a retirada desses produtos da condição de armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Injúria por frio é a desordem mais comum e preocupante em frutos e hortaliças armazenadas. Ocorrem quando os produtos são expostos a temperaturas inferiores à temperatura mínima de segurança (TMS), mas acima do ponto de congelamento. A TMS é variável para diferentes produtos, na faixa de 0 a 15 °C, e define a temperatura abaixo da qual os danos podem ocorrer, dependendo do tempo de exposição. Mesmo não provocando o congelamento da célula, a exposição do fruto ou hortaliça a temperaturas baixas por um determinado período de tempo pode causar uma série de modificações no metabolismo normal, levando ao aparecimento dos sintomas de injúria (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

A injúria por frio difere do congelamento, pois não há formação de cristais de gelo nas células, e sim distúrbios metabólicos que conduzem a diferentes sintomas, reduzindo a qualidade dos produtos e, consequentemente, sua comercialização (CHITARRA; CHITARRA, 2005; WANG, 2009). É importante reconhecer as diferentes fases das respostas e sintomas que resultam da exposição ao frio dos diferentes produtos. De início, ocorre uma resposta primária à temperatura, considerada de natureza física, como alterações em nível de membrana celular. Mais tarde, ocorrem as mudanças fisiológicas, continuadas por período excessivo de tempo, podendo ser prejudiciais e resultarem no desenvolvimento dos sintomas devido às baixas temperaturas (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A injúria por frio tem grande impacto na integridade da membrana celular. Em temperaturas baixas, que ocasionam a injúria, a peroxidação de ácidos graxos da membrana, o aumento do grau de saturação desses ácidos graxos, a degradação de fosfolipídios e galactolipídios e o aumento da proporção de esterol para fosfolipídio conduz à redução da fluidez e desempenho da membrana. Se o tecido, órgão ou planta inteira for exposto a temperaturas prejudiciais por um período de tempo, então a ruptura das membranas celulares ocorre, causando vazamento do líquido intracelular, íons e metabolitos (RUI et al., 2010; AGHDAM et al., 2016).

O estresse oxidativo é um estresse secundário comum que ocorre entre o estresse biótico e abiótico e a injúria pelo frio não é exceção a esta regra. A perda de integridade da membrana é ela própria impulsionada por processos oxidativos, uma vez que o estresse causado pelo frio aumenta os níveis de espécies reativas de oxigênio (ROS) que estimula a peroxidação lipídica nas membranas celulares (AGHDAM; BODBODAK, 2013).

Existem diferenças na sensibilidade a injúria por frio, bem como, nas diferentes etapas do ciclo vital da planta ou órgão vegetal, variando entre espécies, e mesmo entre cultivares de uma mesma espécie (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

No processo de injúria por frio, além da temperatura e do tempo de exposição do produto, outros fatores devem ser levados em consideração, como o estádio de maturação, o tipo de tecido do produto, e a elevada umidade relativa na colheita e no armazenamento. Quanto mais baixa for à temperatura (abaixo do limiar de temperatura de injúria) e mais longo o tempo de exposição, maior a severidade dos sintomas. Quanto ao estádio de maturação, normalmente para a maioria das espécies, o estádio pré-climatério apresenta maior sensibilidade, como em abacate, banana, manga e mamão (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A sensibilidade à desordem decresce progressivamente com o amadurecimento.

Em geral, os sintomas de injúria por frio podem se manifestar como escurecimento interno, depressões superficiais, falha no amadurecimento, polpa translúcida, falha no desenvolvimento normal da cor da polpa e, normalmente, uma completa perda de sabor e odor característicos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). O aumento da deterioração dos tecidos contribui para a invasão de microrganismos, e consequentemente, para a perda do produto (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Foram observados sintomas de injúria por frio em banana quando as frutas foram expostas a 10°C por 6 horas, apresentando escurecimento subepidérmico dos tecidos, apresentando amadurecimento irregular e aceleração de escurecimento (RODRÍGUEZ-ZAPATA et al., 2015)

A temperatura de armazenamento para acerola não devem ser muito baixa, uma vez que os frutos de acerola são susceptíveis a danos por frio quando armazenados em temperaturas inferiores a 5 - 6°C, com os danos tornando-se mais visíveis quando armazenados em câmaras onde a umidade relativa do ar é inferior a 85% (YAHIA, 2011b).

REFERÊNCIAS

- ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT, M. E. **Ethylene in plant biology**. . 2 ed. San Diego: Academic Press, 1992. 414 p.
- ADRIANO, E.; LEONEL, S.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de fruto da aceroleira CV. Olivier em dois estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. Especial, n. E, p. 541–545, 2011.
- AGHDAM, S. et al. Enhancement of postharvest chilling tolerance of anthurium cut flowers by γ-aminobutyric acid (GABA) treatments. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 52-60, 2016.
- AGHDAM, M. S.; BODBODAK, S. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. **Scientia Horticulturae**, v. 156, p. 73–85, 2013.
- AGRIANUAL 2010: ACEROLA **Anuário da agricultura brasileira**, São Paulo, 2010. 150p.
- ALBERTINO, A. et al. Natural origin ascorbic acid: Validation by ¹³ C NMR and IRMS. **Food chemistry**, London, v. 112, p. 715-720, 2009.
- ALMEIDA, D. P. F.; HUBER, D. J. Apoplastic pH and inorganic ion levels in tomato fruit: a potential means for regulation of cell wall metabolism during ripening. **Plant Physiology**, v. 105, p. 506–512, 1999.
- ALVES R. E.; CHITARRA A. B.; CHITARRA M. I. F. Postharvest physiology of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits: Maturation changes, respiratory activity and refrigerated storage at ambient and modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, v. 370, p. 223 229, 1995.
- ALVES, R.E.; MENEZES, J.B. Botânica da aceroleira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ACEROLA NO BRASIL, 1. 1995, Vitória da Conquista. **Anais**... Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 1995. p. 7-14.
- ARAÚJO. P. G. L. et al. Qualidade físico-química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 867-880, 2009.
- ARPAIA M. L.; HOFSHI R. Preliminary report on the feasibility of 'snap' harvesting 'Hass' avocados. **Subtropical Fruit News**, v. 6, n. 2, p. 7–9, 1998.
- ARVANITOYANNIS, S. I.; BOULETIS, D. A. **Minimally processed vegetables in** "**Modified atmosphere and active packaging technologies**" CRC press. Boca Raton: CRC Press, 2012. 826p.
- ASSIS, S.A. de et al. Acerola: importance, culture conditions, production and biochemical aspects. **Fruits**, v. 63, p. 93-101, 2008.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 111p. AZEREDO, H. M. C. et al. Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 505-510, 2012.

BANDA, K. et al. Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 97–105, 2015.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995. 223p.

BRUNINI, M. A. et al. Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 486-489, dezembro, 2004.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Respiração de frutas e hortaliças**. Comunicado Técnico (46), Embrapa, Brasília, DF. ISSN 1414-9850, 2007.

CARRINGTON, S. C. M.; KING, G. R. A. Fruit development and ripening in Barbados cherry, *Malpighia emarginata* DC. **Scientia Horticulturae**, v. 92, n. 1, p. 1–7, 2002.

CARVALHO, R. I. N. de; MANICA, I. Influência de estádios de maturação e condições de armazenamento na conservação da acerola (*Malpighia glabra* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 681-688, 1994.

CASTELLANOS, D. A. et al. Modelling the evolution of O2 and CO2 concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 168, p. 84–95, 2016.

CHAVES, A. L. et al. Caracterização imunoquímica da ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) oxidase em frutos climatéricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], vol. 17, n. 3, p. 320-324. 1997. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20611997000300024>. Acesso em: 17 abr. 2017.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed, Lavras: UFLA, 2005. 783p.

CHITARRA, A. B.; ALVES, R. E. **Tecnologia pós-colheita para frutas tropicais.** Fortaleza: FRUTAL-SINDIFRUTA, 2001. 314p.

CODEVASF. Censo frutícola da Codevasf 2001. Brasília, 2003. In: RITZINGER, R; RITZINGER, C.H.S.P. Acerola. In: RODRIGUES, M. G. V.; DIAS, M. S. C. Cultivo tropical de fruteiras. **Informe agropecuário**, v. 32, n. 264, p.17-25, 2011.

COLGECEN, I.; ADAY, M. S. The efficacy of the combined use of chlorine dioxide and passive modified atmosphere packaging on sweet cherry quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 10–19, 2015.

COLLINS, P.; PLUMBLY, J. Natural colors – stable future? **European Food Research and Technology**, v. 49, n. 2, p. 64-70, 1995.

- CORRÊA, A. D. Chemical constituents of the fruit-of-lobo (*Solanum lycocarpum* st. hil.), during the maturation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, p. 131–135, 2000. COULTATE, T. T. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 308p.
- CRISOSTO, C. H.; MITCHELL, F. G.; JU, Z. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. **HortScience**, v. 34, p. 1116-1118, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coleção Plantar**: Acerola. Brasília, DF, 2012. 150p.
- FIGUEIREDO, R. W. Qualidade e bioquímica de parede celular durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento de pedúnculos de cajueiro anão precoce CCP 76 submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio. 2000. 154f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FIGUEIREDO NETO, A. et al. Determinação de vitamina C e avaliação físico-química em três variedades de acerola cultivadas em Petrolina-PE. **Nucleus**, v. 11, n. 1, p. 83-92, 2014.
- FOX A. J. Ripening induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. **Hort science** *v.* 40, p. 732-736, 2005.
- FURLANETO, F. P. B.; NASSER, M.D. Panorama da cultura da acerola no estado de São Paulo. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 12, n.1, p. 1-6, 2015.
- GARCÍA, M. A.; MARTINÓ, M. N.; ZARITZKY, N. E. Plasticized starch-based coatingsto improve strawberry (*Fragaria ananassa*) quality and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 3758–3767, 1998.
- GIOVANNONI, J. Molecular biology of fruit maturation and ripening. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 52, p. 725-749, 2001.
- GOMES, J. E. Análises de agrupamento e de componentes principais no processo seletivo em genótipos de aceroleiras (*Malpighia emarginata* D.C.) **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 1, p. 36-39, 2000.
- GOMEZ-LIM, M. A. Postharvest physiology. In: The Mango: Botany, production and uses. **CAB International**, p. 425-446, 1997.
- GORRIS, L. G. M.; TAUSCHER, B. Quality and safety aspects of novel minimal processing technologies. In: **Processing Foods. Quality Optimization and Process Assessment** (ed) OLIVEIRA, F. A. R.; OLIVEIRA, J. C. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 325–339.
- HANDERBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist, and nursery stocks. Washington: USDA, 1986. 130p.

- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Condição do produtor. Disponível em:
- . Acesso em: 10 Jun. 2016.">http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. Acesso em: 10 Jun. 2016.
- JACOMINO, A. Transformações bioquímicas em produtos hortícolas após a colheita. In: **Bioquímica de alimentos: teorias e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- JAYANTY, S. Modified atmosphere packaging and controlled atmosphere storage. In: BEN-YEHOSHUA, S. (Ed.), **Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality**. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 61-112.
- KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, p. 99-110, 1986.
- KADER, A. A. A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. In: Kader, A. (ed) Fruits other than apples and pears. **Postharvest Horticulture Series**, v. 2, n. 17, p. 1–36, 1997.
- KAWATI, R. Pesquisa e extensão sobre a cultura da acerola no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ACEROLA NO BRASIL, 1. 1995, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, p. 149-154, 1995.
- KAYS, S. J. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: AVI Book, 1997. 532p.
- KENDE, H. Ethylene Biosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 4, p. 283-307, 1993.
- LATCHÉ, A et al. Biosynthèse et mode d'action de l'hormone végétale éthylène. **Fruits**, v. 50, n. 5, p. 379-396, 1995.
- LEE. L.; ARUL. J. L. R. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: Physiological basis and practical aspects Part II A Review on Modified Atmosphere Packaging and Preservation of Fresh Fruits and Vegetables: Physiological Basis. **Packaging Technology and Science**, v. 8, p. 1–17, 1996.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. Pheharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, p. 207-220, 2000.
- LIMA, M. A. C. de et al. Comportamento respiratório e qualidade Pós-coheita de Graviola (*Annona muricata* L.) 'Morada' sob temperatura ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 49-52, 2003.
- LIMA, V. L. A. G. et al. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harbested at three ripening stages. **Food Chemistry**, v. 90, p. 565-568, 2005.

- LIMA, V. L. A. G. et al. Identificação de antocianidinas em acerolas do banco ativo de germoplasma da Universidade Federal Rural de Pernambuco. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 927-935, 2006.
- MACIEL, M. I. S. et al. Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 168-170, 2004.
- MACIEL, M. I. S. et al. Características sensoriais e físico-químicas de geléias mistas de manga e acerola. **Boletin CEPPA**, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 247-256, 2009.
- MAGWAZA, L. S.; OPARA, U. L. Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products a review. **Scientia Horticulturae**, v. 184, p. 179–192, 2015.
- MAHAJAN, P. V. et al. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 1, p. 84–92, 2007.
- MAHAJAN, P. V. et al. **Development of web-based software for MAP design**. An oral presentation delivered in 10th international controlled and modified atmosphere research conference. Turkey: Antalya, 2009.
- MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. **Food Engineering Reviews**, *v*. 1, n. 2, p. 133–158, 2009.
- MANGARAJ, S. et al. Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 2925–2946, 2014.
- MANGARAJ, S.; K.GOSWAMI, T.; MAHAJAN, P. V. Development and validation of a comprehensive model for map of fruits based on enzyme kinetics theory and arrhenius relation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 4286–4295, 2015.
- MARANHÃO, C. M. C. Caracterização física, físico-química e química do fruto de aceroleira (*Malphigia emarginata* D.C), variedade Okinawa, durante o seu desenvolvimento. 2010, 89f. Dissertação (Mestrado Ciência e tecnologia dos Alimentos) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2010.
- MDITSHWA, A.; MAGWAZA, L. S.; TESFAY, S. T. Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 148-159, 2017.
- MARINO NETTO, L. Acerola: a cereja tropical. São Paulo: Nobel; Dieberguer, 1986.
- MELO, E. A. et al. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 639-644, 2006.

- MEZADRI, T.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata* DC.) and derived products. **European Food Research and Technology**, v. 220, p. 63-69, 2005.
- MEZADRI T. et al. 'El fructo de la acerola: composicion y posibles usos alimenticios'. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 56, p. 101–109, 2006.
- MIYASHITA, R. K..; NAKASONE, H. Y.; LAMOUREUX, C. H. Reproductive morphology of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Hawaii Agric Exp Sta Tech Bull**, v. 63, n. 31, 1964.
- MOHAMMED, M. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). In: YAHIA E. M. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, cap. 2, 2011. p. 27-45.
- MOLINARI, A. C. F. **Métodos combinados para preservar a qualidade pós-colheita de mamão "Golden" tipo exportação**. 2007. 128f. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.
- MOURA, C. F. H. et al. Avaliações físicas e físico-químicas de frutos de clones de aceroleira (*Malpighia emarginata* D . C .). **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 52–57, 2007.
- MORETTI, C. L. et al. Climate changes and potential impactson postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. **Food Reseach International**, v. 43, p. 1824-1832, 2010.
- NASSER, M. D.; ZONTA, A. Caracterização de frutos de genótipos de aceroleira em função de estádios de maturação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 5, p. 76-78, 2014.
- NEVES, I. P. **Cultivo de acerola**. Dossiê técnico. Rede de Tecnologia da Bahia RETEC/BA, 2007.
- NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 4, p. 463-470, 2002.
- OLIVEIRA, J. R. P; SOARES FILHO, W. S. Situação da cultura da acerola no Brasil e ações da Embrapa Mandioca e Fruticultura em recursos genéticos e melhoramento. In: SIMPÓSIO RECURSOS GENÉTICOS E MELHORAMENTO DE PLANTAS PARA O NORDESTE BRASILEIRO. 13, 1994, Petrolina, PE. **Resumos...** Petrolina, 1998.
- OLIVEIRA, E. N. A; SANTOS, D. C. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal:IFRN, 2015, p. 234.
- PECH, J. C. et al. Involvement of ethylene in fruit ripening: expression and control of ACC oxidase gene. In: AUSTRALASIAN POSTHARVEST HORTICULTURE CONFERENCE, Melbourne, 1995. **Proceedings...** Melbourne, Department of Natural Resources and Environment Institute for Horticultural Development. 1995. p.47-53.

- PINTO, D. M. **Tecnologias de pós-colheita em Caqui 'Fuyu'**. 2010. 165f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- PONCE, N. M. et al. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on tree ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 2562-2570, 2010.
- REID, M. S. Maturation and maturity indices. In: **Postharvest technology of horticultural crops.** 3rd ed. KADER, A.A. (ed) Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, p. 55-62, 2002a.
- REID, M. S. Ethylene in Postharvest Technology. In: **Postharvest technology of horticultural crops.** 3rd ed. KADER, A.A. (ed) Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, p. 149-162, 2002b.
- RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. S.; OLIVEIRA, J. R. P. Variedades e melhoramento. In: RITZINGER, R.; KOBAYASHI, A. K.; OLIVEIRA, J. R. P. (Org.). **A cultura da aceroleira.** 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003. p. 65-72.
- RITZINGER, R.; RITZINGER, C.H.S.P. Acerola. In: RODRIGUES, M. G. V; DIAS, M. S. C. Cultivo tropical de fruteiras. **Belo Horizonte: Informe agropecuário**, v. 32, n. 264, 2011, p.17-25.
- RODRÍGUEZ-ZAPATA, L. C. et al. Preharvest foliar applications of glycine-betaine protects banana fruits from chilling injury during the postharvest stage. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 8, 2015.
- RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS •+;** Comunicado Técnico 128; Embrapa Agroindústria Tropical: Fortaleza, Brasil, 2006. 4 p.
- RUI, H. et al. Effects of heat treatmenton internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response tochilling stress. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p. 1557–1561, 2010.
- SANTINI JUNIOR, R.; HUYKE, A. 'Identification of the anthocyanin present in the acerola which produces colour changes in the juice on pasteurization and canning', **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 40, p. 171 178, 1956.
- SELCUK, N.; ERKAN, M. Changes in phenolic compounds and antioxidant activity of sour–sweetpomegranates cv'. Hicaznar'during long-term storage under modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 30–39, 2015.
- SHACKEL, K. A. et al. Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. **Plant Physiology**, v. 97, p. 814–816, 1991.
- SHENGMIN, L. Effects of bactericides and modified atmosphere packaging on shelf-life of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*). LWT. **Food Science and Technology**, *v.* 42, p. 286–291, 2009.

- SILVA, J. S.; FINGER, L. F.; CORRÊA, P. C. Armazenamento de frutas e hortaliças. In: SILVA, J. S. (ed) **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. 1ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 502p.
- SILVA, D. S. Estabilidade do suco tropical de goiaba (*Pisidium guajava* L.) obtido pelos alimentos de enchimento à quente e asséptico. 2007. 82f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- SILVA, P. A. et al. Modificações nas atividades da poligalacturonase e pectinametilesterase em morangos armazenados à temperatura ambiente. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 33, p. 1953-1958, 2009. SIMÃO, S. Cereja das Antilhas. In: SIMÃO, S. **Manual de Fruticultura**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1971. cap.15, p. 477-485.
- SOUZA, M. C. de. **Qualidade e atividade antioxidante de frutos de diferentes progênies de açaizeiro (***Euterpe oleracea* **Mart).** 2007. 124f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- SOUZA, K. O. de. et al. Antioxidant compounds and total antioxidant activity in fruits of acerola from cv. Flor branca, Flórida Sweet and BRS 366. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 294-304, 2014.
- SOUZA, F. de F. et al. **Principais variedades de aceroleiras cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco.** 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. 23p. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br Acesso em: 25 mar. 2017.
- TOIVONEN, P. M. A.; BRANDENBURT, J. S.; LUO, Y. Modified atmosphere packaging for fresh-cut produce. In: YAHIA, E. M. (Ed.) **Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities**. Boca Raton: CRC Press, 2009. p. 456-488.
- TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 81, p. 853-879, 2001.
- VICENTE, A. R. et al. Review The linkage between cell wall metabolism and fruit softening: looking to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 1435–1448, 2007.
- WANG, Y.; SUGAR, D. Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged 'Bartlett'pears during storage and transit. **Postharvest Biology and Technology,** v. 83, p. 72–82, 2013.
- WANG, C. Y. Chilling injury of fruits and vegetables. Food Reviews International. WANG, C. Y (1989) Chilling injury of fruits and vegetables, **Food Reviews International**, v. 5, n. 2, p. 209-236, 2009. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/87559128909540850 Acesso em: 28 fev 2016.

- WILLS, R. et al. Introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. 4 ed. Zarazoga: Acribia, 1999. 240p.
- WILLS, R.; GOLDING, J. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. 6 ed. Wallingford: CAB International, 2016.
- YAHIA, M. E. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Fundamental issues. 1 ed. v.1, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 543p. 2011a.
- YAHIA, M. E. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.) in: **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Açai to citrus** 1 ed. v. 2, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, p. 27-45. 2011b.
- ZAGORY, D.; KADER, A. A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Technology**, v. 42, n. 9, p. 70–77, 1988.

ZAREMBINSKI, T.I.; THEOLOGIS, A. Ethylene biosyntesis and action: a case of conservation. **Plant Molecular Biology**, v. 26, p. 1579-1597, 1994.

3. Estádio de maturação e temperatura de armazenamento eficientes na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas

Bruna Silva Ribeiro^a, Sérgio Tonetto de Freitas^b

^aLaboratório de Fisiologia Pós-colheita – Embrapa Semiárido, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, 56300-990, Petrolina, PE, Brasil. Email: brlumma@gmail.com

^bLaboratório de Fisiologia Pós-colheita, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Embrapa Semiárido, 56302-970, Petrolina, PE, Brasil. Email: sergio.freitas@embrapa.br

RESUMO

A acerola é uma espécie altamente perecível, sendo necessários estudos para desenvolver e identificar técnicas de conservação que viabilizem a comercialização em maior escala de frutos in natura. Para cultivares de acerolas produzidas no Vale do São Francisco, pouco se sabe o sobre estádio de maturação ideal para a colheita e temperaturas de armazenamento que potencializem a vida útil. O presente estudo teve como objetivo determinar o estádio de maturação para a colheita e a temperatura de armazenamento mais eficiente na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas destinadas ao consumo in natura. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foram colhidas em três estádios de maturação de acordo com ângulo Hue: 1 = 140º - 100º; 2 = <100º - 60º e; 3 = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$ e armazenadas a 8, 10, ou 12°C ± 0,5°C e UR: 90-95%, no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3X3. As temperaturas de 10 e 12°C para acerolas 'Flor Branca' e 12°C para acerolas 'Junko', conferiram características de armazenamento favoráveis, resultando em maior qualidade e vida útil para frutos colhidos no estádio de maturação 1 (ºh = 140º - 100º). A incidência de podridão, perda de massa e resistência à compressão foram superiores em frutos do estádio de maturação mais avançado, armazenados a 10 e 12ºC. A acidez titulável (AT) diminuiu com o avanço no amadurecimento e o teor de sólidos solúveis (SS) e relação SS/AT foram superiores em estádio de maturação mais avançado em diferentes temperaturas. O armazenamento a 8°C e 10°C retardou alterações nos parâmetros de qualidade físico-química e desenvolvimento de podridões, mas aumentou o desenvolvimento de danos por frio nos frutos. Frutos armazenados a 12°C não apresentaram sintomas de injúria por frio. Frutos com sintomas de injúria por frio apresentaram aparência comprometida, caracterizado por aspecto aguoso e translúcido da polpa, redução acentuada na concentração de ácido ascórbico (AA), síntese de antocianinas (ANT) e flavonóides (FLA) amarelos, refletindo no amadurecimento irregular dos frutos.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* D.C.; ponto de colheita; consumo *in natura*; desordem fisiológica; injúria por frio; vida útil.

3.1. Introdução

A cultura da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C) tem origem tropical, nativa das Ilhas do Caribe e adaptou-se na região Nordeste do Brasil, a qual é atualmente a maior produtora de acerola no país (RITZINGER; RITZINGER, 2011). A acerola é considerada um super fruto devido às altas concentrações de compostos bioativos, como o ácido ascórbico, que pode chegar a 5% no suco (MEZADRI et al., 2006), representando aproximadamente 80 vezes as concentrações encontradas em outros frutos como laranja (ANCOS et al., 2016; CUNHA et al., 2014) e limão (REKHA et al., 2012). As elevadas concentrações de compostos bioativos, tem estimulado o consumo de acerolas devido às propriedades funcionais benéficas a saúde (MOURA et al., 2007).

O potencial de armazenamento e a qualidade dos frutos para o consumo *in natura* é dependente do estádio de maturação na colheita e outros fatores (BRAMAN; AHMAD; SIDDIQUI, 2015). O estádio de maturação infuencia diretamente o metabolismo dos frutos (CHEN et al., 2017), sendo um fator crítico na determinação da qualidade, vida útil e desordens pós-colheita (O'HARE, 1993; SIDDIQUI; DHUA, 2010). Desta forma, a definição do estádio de maturação na colheita deve levar em consideração a qualidade dos frutos e o tempo necessário para que cheguem ao mercado consumidor.

Frutos colhidos em estádios de maturação pouco avançados possuem maior capacidade de armazenamento e maior concentração de ácido ascórbico. Por outro lado, colheita antecipada limita o acúmulo de açúcares e a produção de voláteis responsáveis pelo aroma e qualidade dos frutos (VENDRAMINI; TRUGO, 2000). O armazenamento refrigerado é um método eficiente para a manutenção da qualidade pós-colheita por reduzir o metabolismo e aumentar o potencial de armazenamento dos frutos. Temperaturas adequadas de armazenamento retardam vários processos do amadurecimento como a perda de peso, firmeza, sabor, e a incidência de podridões nos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Frutos tropicais são geralmente suscetíveis a desordens fisiológicas causadas por baixas temperaturas, conhecidas como injúria por frio (MUSTAFA et al., 2016), que ocasionam uma série de modificações no metabolismo normal dos frutos, reduzindo a sua qualidade. A injúria por frio tem grande impacto na integridade da membrana celular dos frutos, conduzindo a redução da fluidez e desempenho, bem como, a ruptura das membranas, com vazamento de água intracelular, íons e metabólitos (AGHDAM et al., 2016). Sintomas característicos de injúria por frio são o escurecimento interno, depressões superficiais, polpa translúcida, falha no amadurecimento e desenvolvimento

normal da cor da polpa e, normalmente, uma completa perda de sabor e odor característicos (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). A influência da temperatura de armazenamento sobre a qualidade dos frutos e hortaliças depende dos seus níveis metabólicos (CHEN et al., 2017). Frutos de uma mesma espécie, porém de cultivares diferentes podem apresentar temperaturas ideais de armazenamento distintas (CRISOSTO; MITCHELL; JU 1999). Para acerola *in natura*, estudos sugerem temperaturas de armazenamento de 5°C a 15°C, dependendo do genótipo, condições ambientais de cultivo e tecnologias de conservação (MACIEL et al., 2004; ARAÚJO et al., 2009).

Apesar de alguns estudos realizados, mais informações são necessárias para identificar o estádio de maturação ideal para a colheita em maior escala e a temperatura de armazenamento de acerolas (PETINARI; TARSITANO, 2002) que viabilizem a comercialização em maior escala de frutos *in natura*. Temperaturas de armazenamento para o consumo *in natura* devem ser testadas de forma a evitar possíveis perdas qualitativas e quantitativas por injúrias causadas pelo frio (MORETTI et al., 2010). Para as cultivares de acerola produzidas no Vale do São Francisco, pouco se sabe sobre o estádio de maturação ideal para a colheita e temperaturas adequadas para o armazenamento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi identificar temperaturas ideais de armazenamento, bem como, identificar o estádio de maturação ideal para a colheita de acerolas destinadas ao consumo *in natura*.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Obtenção dos frutos e tratamentos

Frutos de aceroleiras 'Flor Branca' e 'Junko' de 7 e 3 anos de idade, respectivamente, sob espaçamento 4,0 x 5,0 m, irrigadas por microaspersão foram colhidas em pomar comercial localizado no Projeto de Irrigação Nilo Coelho, no Vale do São Francisco, Petrolina, PE. O município de Petrolina situa-se a 09°09' S e 40°22' W, com altitude média de 365,5 m, clima Semiárido quente BS'W segundo KOPPEN, com temperatura média anual de 25,9°C, precipitação média anual de 500 mm, irregularmente distribuídas, e umidade relativa média anual de 66%. Os tratos culturais foram os recomendados para a cultura (EMBRAPA, 2012). A aceroleira 'Flor branca' apresenta frutos pequenos, frágeis e com curta vida pós-colheita. A cultivar Junko possui frutos de tamanho superior à Flor Branca, casca levemente irregular, polpa bastante firme e boa conservação pós-colheita.

Os frutos foram colhidos em três estádios de maturação fisiológica de acordo com o desenvolvimento de cor da epiderme, observados visualmente: 1 = cor verde; 2 = início da mudança de coloração e; 3 = cor vermelha. No laboratório, realizou-se a determinação do ângulo Hue para cada estádio de maturação: 1 = 140º - 100º; 2 = <100º - 60º e; 3 = <60° - 20°. Frutos de cor verde com densidade menor que 1 g cm⁻³ foram selecionados para o estudo, pois possuem capacidade de amadurecimento (desenvolvimento de cor vermelha) após a colheita. Os frutos foram colhidos no início da manhã, e transportados ao Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, onde foram selecionados para eliminar aqueles com danos mecânicos, defeitos ou incidência de doenças e insetos. Então, os frutos foram lavados com água clorada contendo 600µl L⁻¹ de cloro ativo e secos a 20°C. Após esta etapa, os frutos foram randomizados para comporem as amostras experimentais. Os frutos em cada estádio de maturação foram armazenados a 8, 10 e 12 ± 0,5°C, com umidade relativa de 90-95%. Desta forma, os tratamentos avaliados foram combinações entre estádios de maturação e temperaturas de armazenamento, seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado, em fatorial 3 x 3 (maturação x temperatura). Cada tratamento foi composto por quatro repetições de 250 g de frutos acondicionados em cumbucas baixas de 5x10x17cm (altura x largura x comprimento). Os frutos foram avaliados no momento da colheita e a cada 7 dias de armazenamento por um período de 14 dias. Somente foram avaliados frutos sem sintomas de podridão. Os tratamentos foram eliminados quando apresentaram incidência de podridão ≥60%.

3.2.2. Injúria por frio e incidência de podridão

Os sintomas de injúria por frio considerados foram descoloração da epiderme devido à degradação de pigmentos e aspecto aquoso da epiderme (MOHAMMED, 2011). Os sintomas de podridão avaliados foram à presença de lesões características de ataques de patógenos e presença de fungos. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos com injúria por frio ou podridão em cada amostra experimental.

3.2.3. Qualidade físico-química

A perda de massa representa a porcentagem de perda de massa em relação à inicial dos frutos na colheita. A resistência à compressão foi determinada como sendo a máxima força de compressão de 10% do diâmetro dos frutos utilizando um texturômetro modelo TA.XT.Plus (Extralab®, São Paulo, Brasil) adaptado com placa de pressão P/75. A cor da

epiderme foi avaliada na região equatorial dos frutos, utilizando-se colorímetro modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) e expressa em luminosidade (L), que correspondeu a variações do escuro/opaco (0) ao branco (100), e ângulo Hue (ºh) que representa a mudança de cor do azul (270°), verde (180°) para o amarelo (90°) e vermelho-roxo (0°) (MCGUIRE, 1992). O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado em uma amostra de suco extraído com auxílio de centrífuga doméstica a partir de todos os frutos que compunham cada amostra experimental. Os SS foram determinados com o auxílio de um refratômetro digital portátil PAL-1 (Atago, São Paulo, Brasil). A acidez titulável (AT) foi determinada em 1 mL de suco diluído em 50 mL de água destilada titulados com uma solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. A titulação foi realizada com um titulador automático Titrino plus (Metrohm, São Paulo, Brasil). Os resultados de AT foram expressos em porcentagem de ácido málico presente no suco. A relação SS/AT foi obtida pela divisão dos resultados de SS pela AT. A concentração de ácido ascórbico (AA) foi determinada pela titulação de 0,5 mL de suco de acerola diluídos em 100 mL de ácido oxálico 0,5% com uma solução com 0,02% de 2,6 diclorofenol indofenol (DFI) até coloração rósea clara permanente (STROHECKER; HENNING, 1967). Os resultados foram expressos em g.100 g⁻¹. As antocianinas totais (ANT) e os flavonóides amarelos (FLA) dos frutos foram determinados através das leituras em espectrofotômetro 50 UV-Vis (Varian Cary®, Mulgrave, Austrália), no comprimento de onda de 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonóides amarelos (FRANCIS, 1982). Os resultados foram expressos em mg.100 g⁻¹, por meio das seguintes fórmulas:

> Antocianinas totais = Absorbância x fator de diluição/98,2 Flavonóides amarelos = Absorbância x fator de diluição/76,6

3.2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os tempos de avaliação a partir de sete dias, as fontes de variação foram os estádios de maturação e temperatura de armazenamento. Para as análises na colheita, a fonte de variação foi o estádio de maturação. As comparações de médias foram avaliadas pelo teste de Tukey (P <0,05). Os dados de injúria por frio, incidência de podridão e perda de massa fresca foram transformados pela equação arc seno√x/100. As análises estatísticas foram realizadas separadamente para os tempos de avaliação e cultivares com auxílio dos pacotes *ExpDes.pt* (FERREIRA; NOGUEIRA; ALVES, 2013), a partir do software R versão 3.2.5 (R CORE TEAM, 2016).

3.3. Resultados

As características de qualidade físico-química de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foram avaliadas no momento da colheita (Tabela 1). Frutos no estádio de maturação menos avançado apresentaram polpa mais resistente comparado ao estádio de maturação mais avançado. Acerolas 'Flor Branca' no estádio de maturação 2 apresentaram maior luminosidade, enquanto nas acerolas 'Junko' a maior luminosidade da epiderme foi evidenciada em frutos na maturação menos avançada na colheita. Frutos em estádio de maturação menos avançado apresentaram oh superior, característica de coloração mais próximo do verde, com evidente redução do oh nos estádios de maturação 2 e 3, característica de coloração mais próximo do vermelho. Os SS e relação SS/AT foi superior em acerolas no estádio de maturação mais avançado na colheita. A AT e concentração de AA foram superiores no estádio de maturação menos avançado na colheita. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' exibiram maior teor de ANT e FLA no estádio de maturação mais avançado na colheita (Tabela 1).

Tabela 1. Resistência à compressão (RC), cor da epiderme (L, °h), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, concentração de ácido ascórbico (AA), antocianinas totais (ANT) e flavonóides amarelos (FLA) em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas nos estádios de maturação 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$).

,					'Flor Bra	nca'			
Maturação	RC (N)	L	°h	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (122-1)	ANT (122 -1)	FLA (122 -1)
	(1.)			(/-)	(,,,		(g.100 ⁻¹)	(mg.100g ⁻¹)	(mg.100g ⁻¹)
1	79,7 a*	53,4 b	117,4 a	6,9 b	1,86 a	3,73 c	3,56 a	1,74 c	5,79 b
2	20,5 b	58,8 a	96,2 b	7,1 b	1,67 b	4,26 b	2,59 b	4,30 b	5,37 b
3	13,6 с	51,2 b	60,8 c	7,7 a	1,52 c	5,03 a	2,16 c	6,79 a	7,66 a
CV (%)	5,48	2,94	2,10	1,40	1,45	1,19	5,76	6,84	3,50
					ʻJunk	0'			
Maturação	DC (NI)	1	°h	SS (0/)	ΛΤ (0/)	SS/AT	AA	ANT	FLA
	RC (N)	L	11	SS (%)	AT (%)	33/A1	(g.100 ⁻¹)	(mg.100g ⁻¹)	(mg.100g ⁻¹)
1	52,9 a	55,8 a	112,1 a	7,6 b	2,11 a	3,59 b	3,91 a	0,92 c	4,75 b
2	29,6 b	45,8 b	56,8 b	7,8 b	2,05 ab	3,81 b	3,29 b	1,92 b	3,42 c
3	19,2 c	34,2 c	24,9 c	8,6 a	1,88 b	4,58 a	2,77 c	7,28 a	6,36 a
CV (%)	6,32	3,66	10,73	2,90	3,44	3,18	5,14	4,38	6,15

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

De acordo com os resultados das análises de variâncias obtidos a partir dos 7 dias de armazenamento, foi constatada interação significativa entre os fatores estádios de maturação e temperaturas de armazenamento para maioria das variáveis. Desta forma, analisou-se os efeitos das interações ou isoladamente dos fatores para variáveis com ou sem interação significativa, respectivamente.

3.3.1. Injúria por frio e incidência de podridão

A injúria por frio nos frutos foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' aos 7 e 14 dias e 'Junko', aos 14 dias de armazenamento (Tabela 2). De acordo com os resultados obtidos, acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' apresentaram injúria por frio quando armazenadas nas temperaturas de 8 e 10°C (Figura 1, Tabela 2). Frutos mantidos a 12°C não apresentaram sintomas de injúria por frio durante 14 dias de armazenamento. Os sintomas de injúria por frio foram caracterizados pelo aspecto aquoso e translúcido dos frutos, assim como, pela perda da capacidade de mudança de coloração do verde para o vermelho. Acerolas colhidas no estádio de maturação mais avançado apresentaram perda da coloração vermelha, enquanto que frutos colhidos no estádio de maturação 1 e 2 apresentaram incapacidade de desenvolvimento de pigmentação como sintomas de injúria por frio. Ambas as cultivares apresentaram menor susceptibilidade a injúria por frio em frutos colhidos em estádios de maturação mais avançados. Acerolas 'Flor Branca' exibiram injúria por frio após 7 dias de armazenamento a 8°C para os três estádios de maturação e a 10°C para o estádio de maturação 1. Aos 14 dias, a ocorrência da desordem foi observada apenas no estádio de maturação 1 para frutos armazenados a 8°C, frutos no estádio de maturação 2 e 3 armazenados a 8°C e, estádio de maturação 1 armazenados a 10°C, não exibiram os sintomas, possivelmente, por resultados de amostragem e reversão da injúria por frio. A Acerolas 'Junko' não apresentaram injúria por frio aos 7 dias de armazenamento em diferentes temperaturas. Aos 14 dias, acerolas 'Junko' nos três estádios de maturação, apresentaram sintomas de injúria por frio apenas nas temperaturas de 8 e 10°C. A porcentagem de injúria por frio foi maior nos frutos colhidos nos estádios de maturação 1 e 2 armazenados nas menores temperaturas (Tabela 2).

Tabela 2. Injúria por frio (%) em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 \pm 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

annazona									
Maturação -	•	Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' a	os 14 dias		
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	7,59Aa*	2,15Ab	0,00Ac	3,24	21,7Aa	0,00Ab	0,00Ab	7,24	
2	2,33Ba	0,00Bb	0,00Ab	0,78	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	
3	1,69Ba	0,00Bb	0,00Ab	0,56	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	
Média	3,87	0,71	0,00		7,24	0,00	0,00		
CV (%)		21,7				25,5			
Meturoese -		'Junko' aos	s 7 dias		'Junko' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	98,5Aa	29,9Ab	0,00Ac	42,8	
2	0,00	0,00	0,00	0,00	97,7Aa	5,07Bb	0,00Ac	34,3	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	81,5Ba	7,53Bb	0,00Ac	29,7	
Média	0,00	0,00	0,00		92,6	14,2	0,00		
CV (%)		0,00				7,60			

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). *Dados transformados para arc seno√x/100.

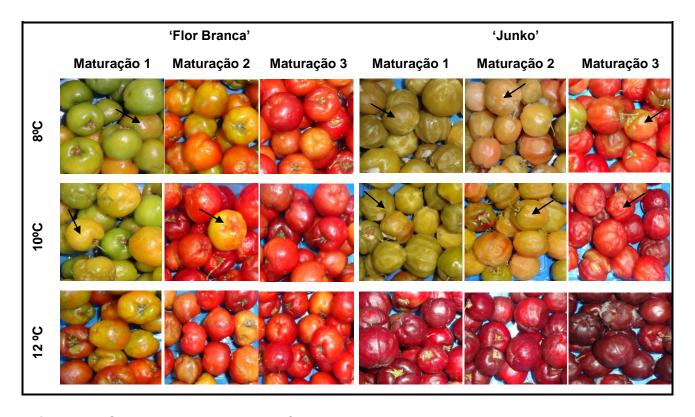


Figura 1. Sintomas de injúria por frio em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio de maturação 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) e armazenadas a 8 e $10 \pm 0,5^{\circ}$ C e UR 90-95% por 14 dias. Acerolas armazenadas a $12 \pm 0,5^{\circ}$ C e UR 90-95% por 14 dias não exibem sintomas de injúria por frio. Setas (\rightarrow) sinalizam sintomas de injúria por frio.

A incidência de podridão nos frutos foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca', aos 7 e 14 dias, e 'Junko', aos 14 dias de armazenamento (Tabela 3). A cultivar Flor Branca apresentou podridão aos 7 dias de armazenamento, com menor incidência nos estádios de maturação 1 e 2 e maior incidência no estádio de maturação 3 armazenados a 12°C. Aos 14 dias, a incidência de podridão foi superior em frutos colhidos no estádio de maturação 2 e 3 armazenados a 10 e 12°C. Aos 7 dias a incidência de podridão nas acerolas 'Junko' não foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação, analisando-se o efeito de cada fator separadamente. A cultivar Junko apresentou maior incidência de podridão em frutos colhidos no estádio de maturação 3, não havendo diferenças entre temperaturas de armazenamento. Aos 14 dias, houve ocorrência de podridão em todos os tratamentos, com maior porcentagem em frutos colhidos no estádio de maturação 3 armazenados a 12°C (Tabela 3).

Tabela 3. Incidência de podridão (%) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturação	(Flor Branca'	aos 7 dias			'F	lor Branca' a	'Flor Branca' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média			
1	0,00Bb*	1,10Ca	0,00Cb	0,37		11,0Ca	7,71Ca	9,43Ca	9,39			
2	0,00Bc	2,36Bb	3,31Ba	1,89		35,2Ba	42,0Ba	32,5Ba	36,6			
3	2,10Ac	8,48Ab	15,6Aa	8,73		64,0Ab	67,2Ab	81,5Aa	70,9			
Média	0,70	3,98	6,31			36,8	38,9	41,1				
CV (%)		10,5					11,5		-			
Maturação	'Junko' aos 7 dias						'Junko' aos	14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média			
1	0,00	0,00	0,00	0,00B		1,72Ba	1,76Ca	1,39Ca	1,62			
2	0,00	0,00	0,00	0,00B		1,95Bb	4,46Ba	4,07Bab	3,49			
3	6,77	7,01	15,02	9,60A		18,1Ac	35,7Ab	53,3Aa	35,7			
Média	2,26A	2,34A	5,01A			7,27	13,9	19,6				
CV (%)		57,8					11,9		-			

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). *Dados transformados para arc seno√x/100.

3.3.2. Qualidade físico-química

A perda de massa fresca dos frutos foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 4). Para a 'Flor

Branca' aos 7 e 14 dias de armazenamento, os frutos no estádio de maturação 3, armazenados a 10°C, apresentaram maior perda de massa, alcançando valor superior a 20% aos 14 dias de armazenamento. A perda de massa fresca para acerolas 'Junko' foi superior para os estádios de maturação 2 e 3 armazenados a 10°C, e para o estádio mais avançado quando armazenado a 12°C por 7 e 14 dias (Tabela 4).

Tabela 4. Perda de massa fresca (%) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 \pm 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento

allilazella	IIIGIIIO									
Maturação		Flor Branca'	aos 7 dias			'F	lor Branca' a	os 14 dias		
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média	
1	4,16Ac*	9,54Ba	5,49Ab	6,39		6,55Cc	17,6Ba	9,29Cb	11,1	
2	4,34Ac	10,3Ba	6,03Ab	6,89		7,87Bc	18,6Ba	11,9Bb	12,8	
3	4,58Ac	12,5Aa	5,94Ab	5,81		9,40Ac	24,2Aa	13,2Ab	15,6	
Média	4,36	10,8	5,82			7,94	20,1	11,5		
CV (%)		4,21					2,70			
Maturação -		'Junko' aos 7 dias				'Junko' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média	
1	0,53Bb	2,58Ba	2,70Ba	1,94		2,60Bc	9,36Ba	6,77Cb	6,24	
2	3,36Ab	5,48Aa	4,34Aab	4,39		5,01Ac	10,9Aa	8,10Bb	8,02	
3	3,14Ab	5,12Aa	5,43Aa	4,56		5,88Ab	10,8Aa	11,3Aa	9,33	
Média	2,34	4,39	4,15			4,49	10,4	8,72		
CV (%)		8,12					4,24			

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). *Dados transformados para arc seno√x/100.

A resistência à compressão foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 5). Aos 7 dias, frutos no estádio de maturação menos avançado apresentaram polpa mais resistente quando armazenados à temperatura de 8°C. Aos 14 dias de armazenamento, os frutos mais resistentes foram observados nas temperaturas de 10 e 12°C, no estádio de maturação menos avançado, para a 'Flor Branca' e 'Junko', respectivamente. A resistência à compressão diminuiu com o aumento da temperatura de armazenamento e estádio de maturação dos frutos (Tabela 5).

A luminosidade da epiderme foi influenciada significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 6). Acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 1 e 2 apresentaram coloração da epiderme mais clara que frutos colhidos no estádio de maturação 3 durante o armazenamento em diferentes

temperaturas. Acerolas 'Junko colhidas no estádio de maturação 1 apresentou frutos com epiderme mais clara, quando armazenados à temperatura de 8°C (Tabela 6).

Tabela 5. Resistência à compressão (N) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturação	1	Flor Branca'	aos 7 dias			'Flor Branca' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média	
1	59,9Aa*	44,1Ab	45,9Ab	50,0	_	36,3Aab	37,5Aa	31,2Ab	35,0	
2	23,5Ba	17,5Bb	16,6Bb	19,1		20,4Ba	13,0Bb	15,7Bab	16,4	
3	14,5Ca	13,7Ca	13,2Ca	13,8		**	**	**	**	
Média	32,6	25,1	25,3			28,3	25,3	23,4		
CV (%)		6,44					11,3			
Meturoese -	'Junko' aos 7 dias						'Junko' aos	14 dias		
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média		8°C	10°C	12°C	Média	
1	36,4Aa	26,3Ab	23,8Ab	28,8	_	11,7Ab	13,0Ab	20,0Aa	14,9	
2	15,3Ba	17,1Ba	18,0Ba	17,1		7,65Bb	7,74Bb	14,4Ba	9,90	
3	11,1Ca	11,9Ca	13,5Ca	12,2		5,10Cab	4,80Cb	7,16Ca	5,69	
Média	20,9	18,6	18,4			8,14	8,53	13,8		
CV (%)		12,4					13,3			

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

Tabela 6. Luminosidade (L) da epiderme de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturacão	•	Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' a	os 14 dias	
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	51,8Aa*	53,9Aa	52,0Aa	52,6	52,4Ab	57,2Aa	54,5Aab	54,7
2	50,6Aa	45,9Bb	47,7Bab	48,1	50,3Aa	44,2Bb	45,1Bb	46,5
3	46,1Ba	41,5Cb	42,9Cab	43,5	**	**	**	**
Média	49,5	47,1	47,6		51,4	50,7	49,8	
CV (%)		4,61				3,57		
Moturooão		'Junko' ao	s 7 dias			'Junko' aos	14 dias	
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	8°C 53,5Aa	10°C 45,2Ab	12°C 34,3Ac	Média 44,3	8°C 52,8Aa	10°C 49,6Ab	12°C 31,0Ac	Média 44,5
1 2								
1	53,5Aa	45,2Ab	34,3Ac	44,3	52,8Aa	49,6Ab	31,0Ac	44,5
1 2	53,5Aa 43,3Ba	45,2Ab 36,6Bb	34,3Ac 31,2Bc	44,3 37,0	52,8Aa 47,9Ba	49,6Ab 31,4Cb	31,0Ac 30,6Ab	44,5 36,6

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

O ângulo Hue foi influenciado significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', aos 7 e

14 dias de armazenamento (Tabela 8). Observou-se diminuição do ºh da epiderme dos frutos, evidenciando coloração próxima ao amarelo e vermelho com aumento da temperatura de armazenamento e estádio de maturação. Decréscimo acentuado do ºh foi observado nos frutos armazenados a 8ºC para acerolas 'Junko', a 10ºC para acerolas 'Flor Branca' e a 12ºC para ambas cultivares. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio de maturação 1 e armazenadas a 8ºC, mantiveram ºh superior aos demais tratamentos aos 7 e 14 dias, exibindo epiderme com coloração próximo ao verde (Tabela 8).

Tabela 8. Ângulo hue (°h) da epiderme de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

annazono	umonto.								
Moturooão	4	Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' a	os 14 dias		
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	115,4Aa	111,7Ab	107,6Ac	111,6	99,7Aa	98,7Aa	87,4Ab	95,2	
2	79,4Ba	50,8Bc	55,2Bb	61,8	68,4Ba	42,5Bb	45,0Bb	52,0	
3	48,2Ca	37,6Cc	40,1Cb	42,0	**	**	**	**	
Média	81,0	66,7	67,6		84,0	70,6	66,2		
CV (%)		1,89				3,80			
Maturacão		'Junko' ao	s 7 dias		'Junko' aos 14 dias				
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	113,4Aa	70,1Ab	30,7Ac	71,4	105,2Aa	89,0Ab	21,2Ac	71,8	
2	44,6Ba	32,1Bb	23,6Bc	33,4	69,6Ba	21,6Cb	20,7Ab	37,3	
3	27,2Ca	25,2Ca	18,3Cb	23,6	28,7Ca	24,9Bb	18,1Bc	23,9	
Média	61,7	42,5	24,2		67,9	45,2	20,0		
CV (%)		2,70				10,52			

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

Os teores de SS não foram influenciados pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' aos 7 e 14 dias de armazenamento, analisando-se o efeito de cada fator separadamente (Tabela 9). Para acerolas 'Flor Branca', aos 7 dias, os teores de SS foram superiores no estádio de maturação mais avançado, não ocorrendo diferenças significativas entre as temperaturas de armazenamento. Aos 14 dias, acerolas 'Flor Branca' apresentaram maiores teores de SS quando colhidas no estádio de maturação 2, bem como, em frutos armazenados à 10°C. Para acerolas 'Junko', os teores de SS foram influenciados pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação. Aos 7 dias de armazenamento a 10 e 12°C, observou-se maior incremento no teor de SS nas acerolas 'Junko' colhidas

no estádio de maturação 3. Aos 14 dias, observou-se maior incremento no teor de SS nas acerolas colhidas no estádio de maturação 3 armazenadas em diferentes temperaturas (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de Sólidos solúveis (%) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturação	-	'Flor Branca'	aos 7 dias	·	'F	lor Branca' a	os 14 dias	·
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	7,5	7,3	7,3	7,4B	7,6	8,3	7,5	7,8B
2	7,5	7,3	7,4	7,4B	8,1	8,7	8,3	8,4A
3	7,7	7,8	7,7	7,7A	**	**	**	**
Média	7,6A*	7,5A	7,5A		7,9B	8,5A	7,9B	
CV (%)		3,80				3,10		
Maturação		'Junko' ao	s 7 dias			'Junko' aos	14 dias	
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	7,3Bb	8,2Ba	6,8Cb	7,5	7,3Bab	7,6Ba	7,1Bb	7,4
2	7,5Ba	7,6Ca	7,5Ba	7,5	7,4Bb	7,9Ba	6,4Cc	7,6
3	8,2Ab	9,5Aa	9,3Aa	9,0	8,3Aa	8,3Aa	7,9Ab	8,2
Média	7,7	8,4	7,9		7,7	7,9	7,2	
CV (%)		3,70				2,60		

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

A AT não foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' aos 7 e 14 dias, bem como, para acerolas 'Junko' aos 7 dias de armazenamento, analisando-se o efeito de cada fator separadamente (Tabela 10). Em acerolas 'Flor Branca', a AT foi menor nos frutos colhidos no estádio de maturação mais avançado, não ocorrendo diferenças significativas entre temperaturas aos 7 e 14 dias de armazenamento. Para acerolas 'Junko', aos 7 dias, uma menor AT foi observada em frutos colhidos no estádio de maturação mais avançado, e em frutos armazenados a 8°C. Aos 14 dias, a AT foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação. Frutos no estádio de maturação mais avançado exibiram menor AT, principalmente quando armazenados a 8°C (Tabela 10).

Tabela 10. Acidez titulável (% de ácido málico) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

ue annaze	mamento	•							
Maturação	('Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' a	os 14 dias		
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	2,00	2,02	2,09	2,04A	2,15	2,25	2,28	2,22A	
2	1,80	1,83	1,88	1,84B	1,87	1,70	1,84	1,80B	
3	1,68	1,60	1,69	1,65C	**	**	**	**	
Média	1,83A*	1,81A	1,89A		2,01A	1,97A	2,06A		
CV (%)		5,09				6,13			
Maturação		'Junko' ao	s 7 dias		'Junko' aos 14 dias				
Maturação-	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	1,94	2,51	2,52	2,32A	1,69Ab	1,71Bb	1,73Aa	1,71	
2	1,87	2,40	2,40	2,22B	1,55Ac	1,95Aa	1,70Bb	1,73	
3	1,59	2,02	2,13	1,91C	1,34Bb	1,70Ba	1,68Ca	1,57	
Média	1,80B	2,31A	2,35A		1,53	1,78	2,14		
CV (%)		4,06				5,09			

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

A relação SS/AT não foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' aos 7 e 14 dias, bem como, para acerolas 'Junko' aos 7 dias de armazenamento, analisando-se o efeito de cada fator separadamente (Tabela 11). Aos 7 dias, acerolas 'Flor Branca' apresentaram relação SS/AT superior no estádio de maturação 3, não ocorrendo diferenças entre temperaturas. Aos 14 dias, a relação SS/AT foi superior no estádio de maturação 2, bem como, em frutos armazenados a 10°C. Para acerolas 'Junko', aos 7 dias, a relação SS/AT foi superior no estádio de maturação mais avançado, bem como, em frutos armazenados a 8°C. Aos 14 dias, a relação SS/AT foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação. Frutos no estádio de maturação 3, armazenados a 8°C apresentaram os maiores valores de SS/AT (Tabela 11).

Tabela 11. Relação Sólidos solúveis/Acidez titulável de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

ue annaze	SHAITICHTO	•								
Maturação	4	Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' ad	os 14 dias			
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média		
1	3,77	3,64	3,52	3,64C	3,57	3,71	3,32	3,53B		
2	4,20	4,02	3,93	4,05B	4,35	5,17	4,56	4,70A		
3	4,63	4,89	4,57	4,70A	**	**	**	**		
Média	4,20A*	4,18A	4,01A		3,96B	4,44A	3,94B			
CV (%)		4,59				8,18				
Maturação -		'Junko' aos 7 dias				'Junko' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média		
1	3,77	3,28	2,71	3,25B	4,32Ba	4,49ABa	4,13Ba	4,31		
2	4,04	3,18	3,11	3,44B	4,76Ba	4,07Bb	3,76Cc	4,20		
3	5,18	4,72	4,40	4,77A	6,19Aa	4,89Ab	4,70Ac	5,26		
Média	4,33A	3,73B	3,40C		5,09	4,48	4,20			
CV (%)		5,17				6,28				

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

A concentração de ácido ascórbico de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' não foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação aos 7 dias de armazenamento, sendo que esta diminuiu com o aumento da maturidade dos frutos de ambos genótipos (Tabela 12). Não houve efeito significativo da temperatura de armazenamento para a concentração de AA na cultivar Flor Branca. A temperatura de 8°C reduziu a concentração de AA em acerolas 'Junko'. Aos 14 dias, a concentração de AA de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foi influenciada pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação. Para acerolas 'Flor Branca' aos 14 dias, frutos no estádio de maturação 1 armazenados a 10 e 12°C apresentaram as maiores concentrações de AA, comparados com frutos armazenados a 8°C. Para acerolas 'Junko' aos 14 dias, a concentração de AA foi superior em frutos colhidos no estádio de maturação 1 armazenados a 12°C (Tabela 12).

Tabela 12. Concentração de ácido ascórbico (g. 100^{-1}) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturacão	4	Flor Branca'	aos 7 dias		'F	lor Branca' a	os 14 dias		
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	3,37	3,26	3,33	3,32A	3,28Ab	3,87Aa	3,78Aa	3,64	
2	2,32	2,19	2,23	2,24B	2,34Ba	2,33Ba	2,19Ba	2,28	
3	1,79	1,86	1,88	1,84C	**	**	**	**	
Média	2,50A*	2,44A	2,48A		2,81	3,10	2,98		
CV (%)		4,71				6,07			
Maturação		'Junko' ao	s 7 dias		'Junko' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	3,33	4,06	4,03	3,80A	1,91Ac	2,87Ab	3,94Aa	2,90	
2	2,71	3,38	3,51	3,20B	2,02Ab	3,15Aa	3,07Ba	2,74	
3	2,44	3,01	2,98	2,81C	1,77Ab	2,14Ba	2,40Ca	2,10	
Média	2,83B	3,48A	3,50A		1,90	2,72	3,13		
CV (%)		5,64				6,88			

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

O teor de antocianinas totais de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foi influenciado significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação, aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 13). Aos 7 dias, acerolas de ambos genótipos colhidos no estádio de maturação 3 e armazenados a 12°C apresentaram os maiores teores de ANT. Aos 14 dias de armazenamento, o teor de ANT foi superior em frutos colhidos no estádio de maturação 3 armazenados a 10 e 12°C, nas acerolas 'Flor Branca' e, a 12°C para acerolas 'Junko'. Acerolas de ambos os genótipos colhidos nos estádios de maturação 1 e 2 e armazenados a 8 e 10°C exibiram os menores teores de ANT aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 13).

O teor de flavonóides amarelos foi influenciado significativamente pela interação entre temperaturas de armazenamento e estádios de maturação para acerolas 'Flor Branca' apenas aos 14 dias e, acerolas 'Junko' aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 14). Aos 7 dias, o teor de FLA foi superior nas acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação mais avançado, não ocorrendo diferenças significativas entre as temperaturas de armazenamento. Aos 14 dias, acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 armazenadas a 10 e 12°C exibiram maior teor de FLA (Tabela 14). Acerolas 'Junko' colhidas no estádio de maturação 3 armazenadas a 12°C exibiram maior teor de FLA, aos 7 e 14 dias de armazenamento (Tabela 14).

Tabela 13. Teor de antocianinas totais (mg.100 g⁻¹) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = $140^{\circ} - 100^{\circ}$), 2 (°h = $<100^{\circ} - 60^{\circ}$) e 3 (°h = $<60^{\circ} - 20^{\circ}$) armazenadas a 8, 10 e 12 ± 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Moturooão	1	Flor Branca'	aos 7 dias		'Flor Branca' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	1,33Ba	1,35Ca	1,52Ca	1,40	1,75Bb	1,64Bb	3,36Ba	2,25	
2	1,46Bb	2,78Ba	2,91Ba	2,38	2,75Ab	5,38Aa	5,81Aa	4,65	
3	2,52Ac	4,74Ab	5,81Aa	4,36	**	**	**	**	
Média	1,77	2,96	3,41		2,25	3,51	4,58		
CV (%)		11,54				10,87			
Maturação -		'Junko' ao	s 7 dias		'Junko' aos 14 dias				
Maturação -	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média	
1	1,78Bc	3,73Bb	5,04Ca	3,51	1,43Bc	2,62Cb	8,46Ca	4,17	
2	1,93Bc	3,64Bb	10,0Ba	5,20	1,70Bc	9,56Bb	12,2Ba	7,81	
3	5,45Ac	9,28Ab	11,9Aa	8,86	9,19Ac	12,0Ab	15,1Aa	12,10	
_									
Média	3,05	5,55	8,97		4,10	8,07	11,9		

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

Tabela 14. Teor de flavonóides amarelos (mg.100 g $^{-1}$) de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em três estádios de maturação: 1 (°h = 140° – 100°), 2 (°h = <100° - 60°) e 3 (°h = <60° – 20°) armazenadas a 8, 10 e 12 \pm 0,5°C e UR 90-95% e avaliadas aos 7 e 14 dias de armazenamento.

Maturação -	'Flor Branca' aos 7 dias				'Flor Branca' aos 14 dias			
	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	6,44	6,47	6,18	6,36B	6,16Ab	6,56Ba	4,90Bc	5,88
2	6,16	6,55	6,44	6,38B	6,70Ab	7,81Aa	7,90Aa	7,47
3	6,38	8,18	7,43	7,33A	**	**	**	**
Média	6,33A	7,07A	6,68A		6,43	7,19	6,40	
CV (%)		13,0				14,0		
Maturação -	'Junko' aos 7 dias				'Junko' aos 14 dias			
	8°C	10°C	12°C	Média	8°C	10°C	12°C	Média
1	6,34Ab	6,03Ab	6,62Ca	6,34	6,55Ba	6,52Ba	4,70Cb	5,93
2	4,28Bb	5,52Ab	8,57Ba	6,12	6,03Bb	7,14Bb	9,72Ba	7,63
3	5,75ABb	7,10Ab	10,7Aa	7,84	6,72Ac	9,01Ab	11,1Aa	8,96
Média	5,46	6,21	8,62		6,43	7,56	8,52	

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (5%). Letras maiúsculas comparam médias dentro de cada temperatura (coluna), letras minúsculas comparam médias dentro de cada estádio de maturação (linha). ** Período de armazenamento limitado pela presença de ≥ 60% de podridão.

3.4. Discussão

3.4.1. Injúria por frio

Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' em estádios de maturação 1 e 2 apresentaram maior susceptibilidade a injúria por frio, assim como temperaturas menores que 10°C

aumentaram a incidência de injúria nos frutos. No entanto, o comportamento de cada genótipo foi diferente ao longo do armazenamento. Acerolas 'Flor Branca' apresentaram maior susceptibilidade à injúria por frio aos 7 dias, exibindo reversão dos sintomas aos 14 dias de armazenamento, enquanto que, acerolas 'Junko' apresentaram maior susceptibilidade a injúria aos 14 dias de armazenamento. Aos 7 dias, acerolas 'Junko' não exibiram sintomas de injúria, porém, aos 14 dias aproximadamente 100% dos frutos armazenados a 8°C apresentaram injúria por frio. Estes resultados confirmam estudos anteriores indicando que a combinação entre o estádio de maturação, a temperatura de armazenamento e o genótipo determinam a susceptibilidade dos frutos à injúria por frio. Os sintomas de injúria desenvolvem em diferentes fases, inicialmente em resposta a baixa temperatura ocorrem alterações em nível de membrana celular, e posteriormente, ocorrem mudanças fisiológicas, continuadas por período excessivo de tempo resultando no desenvolvimento dos sintomas (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Frutos em diferentes estádios de maturação respondem de formas distintas à injúria por frio (QIAN et al., 2013). Chen et al., (2017) avaliando a maturidade e temperaturas de armazenamento em carambola, demonstraram que estes frutos colhidos em estádio de maturação menos avançado são sensíveis a baixas temperaturas, o que os tornam susceptíveis à injúria por frio. Zhao et al., (2009) avaliaram o efeito do estádio de maturação em mangas sobre a tolerância a injúria por frio e constataram que frutos em estádio de maturação menos avançado na colheita, apresentaram altos índices de injúria por frio, comparado a estádios mais avançados. A sensibilidade de frutos em maturação menos avançada a danos por frio, é relacionada à menor capacidade antioxidante, uma vez que, estão sob maior estresse oxidativo que frutos em maturação mais avançada (QIAN et al., 2012). Os autores afirmam ainda que, diferentes sistemas antioxidantes desempenham papel no aumento da tolerância ao frio de frutos maduros.

A temperatura é obviamente o principal fator que pode influenciar a gravidade de injúria por frio em frutos (WANG, 2009). Quanto mais baixa for à temperatura de armazenamento, mais cedo desenvolverá a injúria por frio, e mais grave serão os sintomas (PAN et al., 2017). Estes autores avaliaram a ocorrência de injúria por frio em frutos de mamão em diferentes temperaturas e, constaram a ocorrência de sintomas em frutos armazenados a 6 e 11°C, e ausência de sintomas em frutos armazenados a 1°C. Contudo, o armazenamento a 1°C paralisou o amadurecimento de mamão (PAN et al., 2017). Rodríguez-Zapata et al. (2015), avaliando injúria por frio em banana, constataram

os sintomas em frutos expostos a 10°C por 6 horas, com amadurecimento irregular e epidérmico e aceleração de escurecimento.

A temperatura de armazenamento de acerolas não deve ser muito baixa, pois esta espécie é susceptível a injúria por frio quando armazenada a temperaturas inferiores a 6°C (YAHIA, 2011). Neste estudo, a faixa de temperatura de 8 a 10°C certamente ultrapassou o limite mínimo de segurança para o armazenamento de acerolas 'Junko' em estádio de maturação menos avançado, não sendo possível reverter o nível de dano por frio e resgatar o metabolismo normal após transferência dos frutos para temperatura ambiente. No entanto, para acerolas 'Flor Branca' em estádio de maturação menos avançado, a temperatura de 10°C pode ser recomendada para o armazenamento, tendo em vista maior tolerância ao dano por frio. Os tipos, graus e suscetibilidade dos sintomas de injúria por frio são variáveis entre tecidos e genótipos (MANGRICH; SALTVEIT, 2000). Frutos de duas cultivares de manga foram testados quanto à sensibilidade à injúria por frio, em armazenamento a 4ºC. Uma das cultivares de manga desenvolveu escurecimento da casca e polpa, sintoma da injúria por frio, enquanto leve escurecimento foi observado outra cultivar. destacando-se com maior tolerância a baixa temperatura (CHIDTRAGOOL et al., 2011). Em cultivares de tomate a tolerância à injúria por frio pode ser relacionada a propriedades genéticas, com ocorrência de expressão de genes diferenciados entre a cultivar tolerante e sensível (ZHAO et al., 2009). Desta forma, uma mesma espécie pode apresentar diferentes níveis de susceptibilidade à injúria por frio em diferentes genótipos.

3.4.2. Incidência de podridão

Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' em estádios de maturação 3, assim como a temperatura de 12°C resultaram em maior incidência de podridão nos frutos. Entretanto, as cultivares comportaram-se de forma distinta ao longo do armazenamento para a incidência de podridão. Para a 'Flor Branca' a incidência de podridão destacou-se como fator limitante, visto que, frutos em estádios de maturação mais avançados exibiram altos índices de podridão, tendo o estádio de maturação 3, mais que 60% de frutos com podridão, aos 14 dias. Neste caso, a ocorrência de podridão possivelmente deve-se à maior fragilidade da epiderme de acerolas 'Flor Branca', o que limitou a vida pós-colheita dos frutos em estádio de maturação mais avançado mantidos a 12°C.

Geralmente, a susceptibilidade à deterioração dos produtos agrícolas armazenados aumenta durante a maturação e senescência (SIDDIQUI et al., 2015). As alterações

físicas, como a rápida perda da turgidez, característica de acerolas maduras, favorecem muito o desenvolvimento de patógenos (CARVALHO; GROLLI, 1998). Frutos em estádio de maturação mais avançado apresentam pouca resistência à penetração e ao desenvolvimento dos patógenos (BRACKMANN; SAQUET, 1995).

Temperaturas de armazenamento elevadas tendem a acelerar o metabolismo dos frutos e torna-se favorável ao ataque de microrganismos, ocasionando podridões que são responsáveis por elevadas perdas pós-colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Estudos com frutos de amora-preta (PALHARINI et al., 2015), maracujá (ARRUDA et al., 2011), caqui (BRACKMANN et al., 2006) e goiaba (VELHO et al., 2011), mostraram que a incidência de podridões foi significativamente superior, quando os genótipos encontravam-se armazenados em temperaturas mais elevadas. Posto isso, mais estudos são necessários objetivando a redução e controle de podridões pós-colheita em acerolas.

3.4.3. Qualidade físico-química

Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' apresentaram potencial de armazenamento por até 14 dias, dependendo do estádio de maturação na colheita e da temperatura de armazenamento. Entre as temperaturas testadas, o armazenamento a 10 e 12°C para acerolas 'Flor Branca' e, o armazenamento a 12°C para acerolas 'Junko', resultaram em manutenção da qualidade e vida útil quando colhidas no estádio de maturação 1. O armazenamento a 8 e 10°C retardou alterações nos parâmetros de qualidade físico-química e incidência de podridões. No entanto, a redução da temperatura de armazenamento estimulou a incidência de injúria por frio, o que limitou o armazenamento dos frutos, para acerolas 'Junko'.

Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em estádios de maturação 3 e armazenadas a 10 e 12°C apresentaram maiores perdas de massa e resistência à compressão dos frutos. A perda de massa fresca é resultado do somatório da perda de água pela transpiração e perda de matéria seca devido à atividade respiratória dos frutos (FINGER; FRANÇA, 2011). A perda de massa está intimamente ligada à deterioração, principalmente em frutos maduros, comprometendo a aparência com o murchamento e enrugamento, perda da qualidade textural, como o amaciamento e perda de suculência, e qualidade nutricional (VALE 2006; AZZOLINI; JACOMINO; SPOTTO, 2004; KADER, 2002). Santos (2009) avaliou tratamentos com resfriamento rápido em acerolas e observou valores de perda de massa de cerca de 30%, em frutos mantidos em temperatura ambiente, e 9,0%, em frutos submetidos ao resfriamento lento, ao final do

armazenamento. Lee, Zhong e Chang (2015) avaliaram o armazenamento de tangerina 'Ponkan', e constataram que os frutos armazenados a 13,5°C mostraram menor perda de massa que aqueles armazenados a 25°C, indicando que a temperatura mais elevada causou maior perda de umidade. Tais comportamentos se devem à desidratação, decorrente da maior diferença entre as pressões de vapor do interior do fruto e do ambiente externo, e, também, à maior atividade metabólica dos frutos.

A perda excessiva de umidade pode afetar a textura de frutos (SIDDIQUI, 2015). Neste estudo, frutos com maior perda de massa fresca exibiram menor resistência à compressão, apresentando aparência comprometida, uma vez que se mostraram enrugados e murchos quando comparados aos frutos em estádio de maturação 1 armazenados a 12°C. Alta resistência dos frutos desempenha papel importante na redução de podridões. Segundo Pavanello et al., (2015) a alta incidência de podridões em frutos de pêssego após 40 dias de armazenamento, se deve ao prolongado período de armazenamento à baixa temperatura causando danos na epiderme do fruto, e avanço da maturação que provoca mudanças na textura do fruto, favorecendo crescimento de patógenos. A redução da resistência de frutos é um processo resultante de mudanças a nível morfológico e celular, como a separação de componentes da parede celular e da redução da pressão de turgor, que decresce devido ao acúmulo de solutos na parede celular contribuindo para as mudanças texturais (PONCE et al., 2010). O amolecimento da polpa pode ser atribuído à atividade das enzimas hidrolíticas, tais como, a poligalacturonase e pectinametilesterase que promove uma solubilização intensa de pectina, constituinte da parede celular, resultando em menor resistência com a maturidade (SILVA et al., 2009).

No presente estudo, acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em estádio de maturação mais avançado exibiram maior teor de SS e relação SS/AT. Estes resultados foram mais evidenciados nas temperaturas de 10 e 12°C. A AT diminuiu com o avanço da maturidade dos frutos. Respostas semelhantes foram encontradas durante o amadurecimento de acerolas em outros estudos, quanto às transformações físicas e químicas ao longo da maturidade (ALVES et al., 1992; VENDRAMINI; TRUGO, 2000; BATISTA; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2000; NOGUEIRA et al., 2002; HANAMURA; UCHIDA; AOKI, 2008; ADRIANO; LEONEL; EVANGELISTA, 2011; NASSER; ZONTA, 2014). Martins et al., (2003) avaliaram a influência do estádio de maturação e temperaturas de armazenamento em frutos de ciriguela e constataram decréscimo no teor de SS, AT e inibição de pigmentação vermelho-escura em frutos expostos a temperaturas

de 5 e 7°C, com ocorrência de graves sintomas de dano por frio. Com a evolução da maturação, a concentração de açúcares solúveis, como glicose, frutose e sacarose, aumenta (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Logo, o aumento dos SS e relação SS/AT para frutos mantidos a 12 °C indica que os frutos não sofreram mudanças críticas no seu metabolismo, prosseguindo com a maturação e amadurecimento. Por outro lado, este aumento pode, em parte, ser devido à concentração de açúcares e de outros componentes solúveis da célula, devido à perda de água (MUÑOZ et al., 2001). Os SS são, em grande parte, produtos da hidrólise do amido que refletem o fornecimento carboidratos ao fruto (BURDON; LALLUS; BARNETT, 2013). Os SS são importantes reguladores osmóticos celulares em vegetais, pode aumentar a concentração de solutos intracelular e reduzir o ponto de congelamento, resultando em resistência a injúria por frio (MA et al., 2014). O aumento dos SS pode fortalecer a tolerância de frutos ao estresse por baixas temperaturas Zhang et al., (2017). A indução de acúmulo de SS e tolerância à injúria por frio tem sido relatada em tangerinas (GHASEMNEZHAD et al., 2008) e manga (XUE et al., 2012; ZHANG et al., 2017).

As concentrações de ácido ascórbico diminuíram com o avanço amadurecimento dos frutos. Frutos em estádio de maturação menos avançado, armazenados em temperaturas mais elevadas exibiram maior concentração de AA. Frutos com sintomas de injúria pelo frio apresentaram redução acentuada na concentração de AA, de forma mais expressiva para a cultivar 'Junko'. Estudos comprovam que o efeito prejudicial do armazenamento à baixa temperatura, aquela abaixo do limiar de temperatura de injúria, em diversas espécies, pode estar relacionada com a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) que compreendem o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e os radicais superóxido (O2°) e hidroxila (OH), (CHONGCHATUPORN; KETSA; DOORN, 2013). As ROS reagem rapidamente com várias moléculas, incluindo DNA e proteínas (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1997). Este processo resulta na peroxidação lipídica através da superprodução de ROS, levando a uma perda da função e estrutura da membrana em paralelo com o aparecimento de danos (SEVILLANO et al., 2009). A taxa de produção e o teor de espécies reativas de oxigênio aumentaram continuamente em mangas com sintomas de injúria por frio, armazenadas a 5°C por 25 dias, com taxa superior de 17,5% para H_2O_2 e 15,1% para O_2 * (ZHANG et al., 2017).

Para combater possíveis danos devido ao acúmulo de ROS, os tecidos vegetais possuem duas linhas de defesa interligadas. A primeira é a presença de compostos antioxidantes, incluindo o ácido ascórbico, vitaminas e compostos fenólicos (BLOKHINA;

VIROLAINEN; FAGERSTEDT, 2003; CAI et al., 2011). Como linha de defesa contra ROS, as plantas utilizam a atividade de enzimas antioxidantes, como a ascorbato peroxidase (APX), que reagem com as ROS (PRASAD et al., 1997; HUANG et al., 2008; LI et al., 2011). APX faz parte do ciclo ascorbato peroxidase, utilizando ascorbato, o ácido ascórbico na forma ionizada, como um substrato (APEL; HIRT, 2004), ocasionando redução dos níveis desta vitamina em frutos submetidos ao estresse, devido à baixa temperatura. Desta forma, temperaturas abaixo daquelas toleradas por determinada espécie, levam a uma maior incidência e severidade de injúria por frio, aumentando a produção de ROS e o consumo de ácido ascórbico para neutralizar os altos níveis de ROS nos tecidos.

A luminosidade (L) e o ângulo Hue (ºh) da epiderme dos frutos diminuíram com o avanço do amadurecimento, indicativo de frutos mais opacos e com coloração mais próxima ao vermelho intenso. Neste sentido, evidenciou-se aumento do teor de antocianinas totais e flavonóides amarelos com o amadurecimento das acerolas. Estas mudanças foram mais evidenciadas a 12ºC. O armazenamento a 8 e 10°C retardou a síntese de pigmentos para o desenvolvimento de coloração vermelha, mas resultou em maiores perdas devido aos sintomas de dano por frio e/ou podridão. Os flavonóides representam um grande grupo de compostos fenólicos e entre eles, as ANT e os FLA são os principais compostos responsáveis pela pigmentação de flores e frutos (HUBER; RODRIGUEZ-AMAYA, 2008). Além de seu papel na fisiologia das plantas, os flavonóides possuem alto potencial antioxidante, com propriedades bioativas nutricionais (NEUHOUSER, 2004; NAGAPRASHANTHA et al., 2011).

Com o avanço da maturação de cultivares de acerola Flor Branca, BRS 236 e Florida Sweet foi constatado aumento evidente no teor de ANT e FLA, associados à coloração dos frutos (OLIVEIRA et al., 2012; SOUZA et al., 2014). Genótipos de aceroleiras que exibe intensa e característica cor vermelha da epiderme quando maduras, está relacionada à síntese de antocianinas, juntamente com o acúmulo de quercetina, um flavonóide amarelo (SOUZA et al., 2014). Mangas 'Palmer' armazenadas em baixas temperaturas exibiram frutos com graves sintomas de injúria por frio, como escurecimento da casca, baixas médias de luminosidade e ºh, indicativos de síntese de pigmentos significativamente reduzida ao fim do armazenamento (MIGUEL et al., 2013). Frutos de manga 'Carabao', armazenados a 4ºC exibiram redução de cor amarela na casca e polpa, fato atribuído a reduzida síntese de carotenóides devido à injúria por frio (CANTRE et al., 2017). Talcott et al. (2005) relataram menor formação de carotenóides em mangas

Tommy Atkins' armazenadas a 5°C antes da maturação, em comparação com os frutos armazenados a 20°C. Semelhante aos resultados encontrados neste estudo, frutos de acerola 'Flor Branca' em estádio de maturação menos avançado armazenados a 8°C, apresentaram avanço de maturidade comprometida, com inibição da formação de pigmentos. A aparência desses frutos foi caracterizada pela predominância da cor verde opaca e epiderme aquosa, para acerolas no estádio de maturação menos avançado, e desenvolvimento da cor vermelha precariamente presente, em acerolas nos estádios de maturação 2 e 3 danificadas pelo frio.

3.5. Conclusões

As temperaturas de 10 e 12°C para acerolas 'Flor Branca' e, 12°C para acerolas 'Junko', mantiveram a qualidade e extenderam a vida pós-colheita quando colhidas no estádio de maturação 1 (°h = 140° - 100°). O potencial de armazenagem para acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' em estádio de maturação mais avançado, armazenadas a 12°C é inferior a duas semanas, e é limitado principalmente pelo desenvolvimento de podridões. O armazenamento a 8°C retardou significativamente o desenvolvimento de podridões, mas aumentou o desenvolvimento de danos por frio nos frutos. Frutos com sintomas de injúria por frio apresentaram aparência comprometida, caracterizado por aspecto aquoso e translúcido da polpa, redução acentuada na concentração de ácido ascórbico e síntese de pigmentos, refletindo no amadurecimento irregular dos frutos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); ao produtor pelo fornecimento dos frutos; à Embrapa Semiárido e equipe do Laboratório de Fisiologia Pós-colheita; e à Universidade Federal do Vale do São Francisco, pelo suporte para execução dos experimentos.

Referências

ADRIANO, E.; LEONEL, S.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de fruto da aceroleira CV. Olivier em dois estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. Especial, n. E, p. 541–545, 2011.

AGHDAM, S. et al. Enhancement of postharvest chilling tolerance of anthurium cut flowers by γ-aminobutyric acid (GABA) treatments. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 52-60, 2016.

- ALVES R. E. et al. Respiratory activity and physic-chemical and chemical characteristics of acerola in different stages of maturation (*Malpighia emarginata DC.*). **Agropecuaria Technica**, v. 13, n.1/2, p. 27–34, 1992.
- ANCOS, B. et al. Influence of orange cultivar and mandarin postharvest storage on polyphenols, ascorbic acid and antioxidant activity during gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, 2016.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative estress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373–399, 2004.
- ARAÚJO. P. G. L. et al. Qualidade físico-química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, p.867-880, 2009.
- ARRUDA, M. C. et al. Efeito de produtos químicos e temperaturas de armazenamento na pós-colheita de maracujá-amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 201-208, 2011.
- AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; SPOTTO, M. H. F. Estádios de maturação e qualidade pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 29-31, 2004.
- BATISTA, M. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Parâmetros físicos e químicos da acerola (*Malpighia puncifolia*, L.) em diferentes fases de maturação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 19-24, 2000.
- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 179–194, 2003.
- BRACKMANN, A.; SAQUET, A. A. Armazenamento de maçã cv. Gala em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 1, n. 2, p. 55-60, 1995.
- BRACKMANN, A. et al. Temperaturas para o armazenamento de caquis 'Fuyu'. **Revista da FZVA**, v. 13, n. 1, p. 82-89, 2006.
- BRAMAN, K.; AHMAD, S.; SIDDIQUI, M.W. Factors affecting the quality of fruits and vegetables. In: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops**. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 1–50.
- BURDON, J.; LALLUS, N.; BARNETT, P. A. Soluble solids acculation and postharvest performance of 'Hayward' kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 80, p. 1–8, 2013.
- CAI, Y. et al. Me JA regulates enzymes involved in ascorbic acid and glutathione metabolism and improves chilling tolerance in loquat fruit. **Postharvest Biology and Technology,** v. 59, p. 324–326, 2011.
- CANTRE, D et al. Tissue breakdown of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao) due to chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 99-111, 2017.

CARVALHO, R. I. N. de; GROLLI, P. R. Patógenos na frigoconservação de acerolas (*Malpighia glabra* L.). **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 4, n. 1, p. 31-34, 1998.

CHIDTRAGOOL, S. et al. Chilling injury in mango fruit peel: Cultivar differences are related to the activity of phenylalanine ammonia lyase. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, p. 59-63, 2011.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed, Lavras: UFLA, 2005, p. 783.

CHEN, S. W. et al. Effect of harvest season, maturity and storage temperature on storability of carambola 'Honglong' fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 42-51, 2017. CHONGCHATUPORN, U.; KETSA, S.; DOORN, van W, G. Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relation ship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 409-417, 2013.

CRISOSTO, C. H.; MITCHELL, F. G.; JU, Z. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. **HortScience**, v. 34, p. 1116-1118, 1999.

CUNHA, K. D. et al. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. **Brazilian Journal of Food Techology**, v. 17, n. 2, p. 139-145, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coleção Plantar: Acerola**. Brasília, DF, 2012. 150p.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). **Anthocyanins as food colors.** New York: Academic Press, 1982. p.181-207.

FERREIRA, E. B.; NOGUEIRA, P. P.; ALVES, C. D. **ExpDes.pt: Experimental Designs package**, 2013. Disponível em: http://cran.r-project.org/package=ExpDes.pt. Acesso em: 16 maio. 2016.

FINGER, F. L.; FRANÇA, C. F. M. Pré-resfriamento e conservação de hortaliças folhosas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51. **Horticultura Brasileira** 29. Viçosa: ABH.S5793-S5812, 2011.

GHASEMNEZHAD, M. et al. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'satsuma' mandarins: antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 364–371, 2008.

HANAMURA, T.; UCHIDA, E.; AOKI, H. Changes of the composition in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit in relation to cultivar, growing region and maturity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 1813–1820, 2008.

HUANG, R.H. et al. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 168–175, 2008.

- HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v.19, n.1, p.97–108, 2008.
- LEE, T. C.; ZHONG, P. J.; CHANG, P. T. The effects of pre harvest shading and postharvest storage temperatures on the quality of 'Ponkan' (*Citrus reticulata* Blanco) mandarin fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 188, p. 57-65, 2015.
- LI, Q. Cinnamic acid pretreatment mitigates chilling stress of cucumber leaves through altering antioxidant enzyme activity. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 927–934, 2011.
- MA, Q. et al. Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in 'Hongyang' kiwifruit during low temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 97, p. 102–110, 2014.
- MACIEL, M. I. S. et al. Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 168-170, 2004.
- MANGRICH, M. E.; SALTVEIT, M. E. Heat shocks reduce chilling sensitivity of cotton, kenaf, okra, and rice seedling radicles. **Journal of the American Society for Horticultural** Science, v. 125, n. 3, p. 377-382, 2000.
- MARTINS, L. P et al. Fisiologia do dano pelo frio em ciriguela (*Spondias purpurea* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, p. 23-26, 2003.
- MEZADRI, T et al. El fruto de la acerola: composición y posibles usos alimenticios. **ALAN**, Caracas, v.56, n.2, p.101-109, 2006. Disponível em ">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-062200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-0622000001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-062200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-062200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-062200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-062200001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-0620001&lng=es&nrm=iso>">http://www.scielo.php.nrm=iso>">http://www.scielo.php.nrm=iso>">http://www.scielo.php.nrm=iso>">http://ww
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Hortscience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.
- MIGUEL, A. C. A. et al. Qualidade de mangas cv. Palmer após armazenamento sob baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 238-408, 2013.
- MOHAMMED, M. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). In: YAHIA E. M. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**. Philadelphia: *Woodhead Publishing Limited*, cap. 2, p. 27-45, 2011.
- MORETTI, C. L. et al. Climate changes and potential impactson postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. **Food Reseach International**, v. 43, p. 1824-1832, 2010.
- MOURA, C. F. H. et al. Avaliações físicas e físico-químicas de frutos de clones de aceroleira (*Malpighia emarginata* D . C .). **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 52–57, 2007.

MUÑOZ, T. et al. Chilling temperature storage changes the inorganic phosphate pool distribuition in cherimoya (*Annona cherimola*) fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n.1, p. 122-127, 2001.

MUSTAFA, M.A. et al. Enhancing the antioxidant content of carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 118, p. 79–86, 2016.

NAGAPRASHANTHA, L. D. et al. Anti-cancer effects of novel flavonoid vicenin-2 as a single agent and in synergistic combination with docetaxel in prostate cancer. **Biochemical Pharmacology**, v.82, p.1100–1109, 2011.

NASSER, M. D.; ZONTA, A. Caracterização de frutos de genótipos de aceroleira em função de estádios de maturação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 5, p. 76-78, 2014.

NEUHOUSER, M. L. Dietary flavonoids and cancer risk: evidence from human population studies. **Nutrition and Cancer**, v.50, p.1–7, 2004.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 463-470, 2002.

OLIVEIRA, L. S. de. et al. Antioxidant metabolism during fruit development of different acerola (*Malpighia emarginata* D.C) clones. **Journal of Agricultural and Fod Chemistry**, v.60, n.32, p.7957-7964, 2012.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal: IFRN, 2015, p. 234.

O'HARE, T.J. Postharvest physiology and storage of carambola (star fruit): a review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 2, p. 257–267, 1993.

PALHARINI, M. C. A. et al. Efeito da temperatura de armazenamento na conservação pós-colheita de amora-preta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 413-419, 2015.

PAN, Y. G. et al. Effect of low temperatures on chilling injury in relation to energy status in papaya fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 181-187, 2017.

PAVANELLO, E. P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 67-76, 2015.

PETINARI, R. A.; TARSITANO, M. A. A. Análise econômica da produção de acerola para mesa, em Jales, SP: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 411-415, 2002.

- PONCE, N. M. et al. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on tree ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 2562-2570, 2010.
- PRASAD, T.K. et al. Evidence for chilling induced oxidative stress in maize seedlings and regulatory role for hydrogen peroxide. **Plant Cell**, v. 6, p. 65–74, 1994.
- QIAN, C. et al. Maturity dependent chilling tolerance regulated by the antioxidative capacity in postharvest cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. aop, n. aop, 2012.
- QIAN, C. et al. Effect of Maturity Stage on the Gene Expression of Antioxidative Enzymes in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Fruits Under Chilling Stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 8, p. 1495-1500, 2013.
- REKHA, C. et al. Ascorbic Acid, Total Phenol Content and Antioxidant Activity of Fresh Juices of Four Ripe and Unripe Citrus Fruits. **Chemical Science Transactions**, v. 1, n. 2, p. 303-310, 2012.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: https://www.r-project.org/>. Acesso em: 16 jun. 2016.
- RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, v. 2, p.152–159, 1997.
- RITZINGER, R.; RITZINGER, C.H.S.P. Acerola. In: RODRIGUES, M. G. V; DIAS, M. S. C. **Cultivo tropical de fruteiras.** Belo Horizonte: Informe agropecuário, v. 32, n. 264, 2011, p.17-25.
- RODRÍGUEZ-ZAPATA, L. C. et al. Preharvest foliar applications of glycine-betaine protects banana fruits from chilling injury during the postharvest stage. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture,** v. 2, n. 1, p. 8, 2015.
- SANTOS, S. M. L. dos. Resfriamento rápido de acerola por ar forçado: Avaliação dos parâmetros físicos, físico-químicos, sensoriais e do processo. 2009. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- SEVILLANO, L. et al. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 555–573, 2009.
- SILVA, P.A. et al. Modificações nas atividades da poligalacturonase e pectinametilesterase em morangos armazenados à temperatura ambiente. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1953-1958, 2009.
- SIDDIQUI, M.W., DHUA, R.S. Eating artificially ripened fruits is harmful. **Current Science**, v. 99, p. 1664–1668, 2010.

- SIDDIQUI, M. W. Postharvest biology and technology of horticultural crops: Principles and practices for quality maintenance. Boca Raton: CRC Press. 2015, 572p.
- SOUZA, K. O. de. et al. Antioxidant compounds and total antioxidant activity in fruits o acerola from cv. Flor Branca, Florida Sweet and BRS 366. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.2, p.294-304, 2014.
- STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados**, Madrid: Paz Montolvo, 1967. 428p.
- TALCOTT, S.T. et al. Ripening associated phytochemical changes in mangos (*Mangifera indica*) following thermal quarantine and low-temperature storage. **Journal of Food Science**, v. 70, p. 337–341, 2005.
- VALE, A. A. S. et al. Alterações Químicas, Físicas e Físico-Químicas da Tangerina 'Ponkan' (*Citrus reticulata* Blanco) Durante o Armazenamento Refrigerado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 778-786, 2006.
- VELHO, A. C. et al. Influência da temperatura de armazenamento na qualidade póscolheita de goiabas serranas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 014-020, 2011.
- VENDRAMINI, A. L.; TRUGO, L. C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.) at three stages of maturity. **Food Chemistry**, v. 71, n. 2, p. 195–198, 2000.
- WANG, C. Y. Chilling injury of fruits and vegetables. Food Reviews International. WANG, C. Y (1989) Chilling injury of fruits and vegetables, **Food Reviews International**, v. 5, n. 2, p. 209-236, 2009. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/87559128909540850 Acesso em: 16 março 2016.
- YAHIA, M. E. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: **Açai to citrus** 1. ed. v. 2, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011, p. 27-45.
- XUE, X.J. et al. Mechanisms of oxalic acid alleviating chilling injury in harvested mango fruit under low temperature stress. **Acta Horticulturae**, v. 39, p. 2251–2257, 2012
- ZHANG, Z. et al. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. **Food Chemistry**, v. 219, p. 76-84, 2017.
- ZHAO, Z. et al. Maturity-related chilling tolerance in mango fruit and the antioxidant capacity involved. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 304-309, 2009.
- ZHAO, D. Y. et al. Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in Chilling tolerance at cold storage. **Journal of food science**, v. 74, n. 5, 2009.

4. Acerola: fruto climatérico ou não climatérico?

Bruna Silva Ribeiro^a, Sérgio Tonetto de Freitas^b

^aLaboratório de Fisiologia Pós-colheita – Embrapa Semiárido, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, 56300-990, Petrolina, PE, Brasil. Email: brlumma@gmail.com

^bLaboratório de Fisiologia Pós-colheita, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Embrapa Semiárido, 56302-970, Petrolina, PE, Brasil. Email: sergio.freitas@embrapa.br

RESUMO

A aceroleira é uma espécie tropical, cujos frutos apresentam curta vida pós-colheita. Apesar de estudos indicarem um padrão climatérico para a acerola, pouco se sabe sobre a sensibilidade dos frutos ao etileno exógeno após a colheita. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar mudanças fisiológicas e físico-químicas em acerolas colhidas em dois estádios de maturação e tratadas com etileno exógeno. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foram colhidas nos estádios de maturação 1 = (°h > 100° e densidade >1 g cm⁻³) e 2 = (°h > 100° e densidade <1 g cm⁻³) e foram tratadas após a colheita com 0 ou 1.000 µl L⁻¹ de etileno. Após o tratamento com etileno, os frutos foram armazenados a 12°C ± 0,5°C e UR: 90-95%, no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2X2. As acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio de maturação 2 apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho durante 14 dias de armazenamento. Ambas as cultivares colhidas no estádio de maturação 1 não apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho durante o armazenamento. A classificação de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' com densidade < 1 mostrou-se um método eficaz para a classificação de frutos destinados ao consumo in natura. Não foi observada atividade respiratória climatérica típica para ambas cultivares em resposta ao etileno. Não foi detectada produção autocatalítica de etileno em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko'. A incidência de podridão de acerolas 'Flor Branca' foi superior para frutos no estádio de maturação 2 tratadas com etileno. A aplicação exógena de etileno às acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' não influenciou parâmetros de qualidade indicativos do metabolismo climatérico durante o amadurecimento dos frutos.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* D.C.; taxa respiratória; densidade de frutos; etileno exógeno; amadurecimento.

4.1. Introdução

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma espécie tropical pertencente à família Malpighiaceae, cujos frutos possuem alto potencial nutracêutico associado aos elevados níveis de ácido ascórbico, carotenóides e vitaminas (ASSIS et al., 2008; MACIEL et al., 2009; REKHA et al., 2012; ANCOS et al., 2016).

Frutos podem ser classificados em relação à atividade respiratória como climatéricos ou não climatéricos. Frutos climatéricos possuem rápido e acentuado aumento na atividade respiratória e produção de etileno, culminando com o amadurecimento. Frutos não-climatéricos apresentam atividade respiratória que, em geral, declina após a colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O amadurecimento de muitos frutos não climatéricos assemelha-se com o padrão de amadurecimento de frutos climatéricos com evidências na divisão de vias similares de amadurecimento (OBANDO et al., 2007; BARRY; GIOVANNONI, 2007). Estudos indicam que a acerola apresenta padrão respiratório climatérico, caracterizado pelo aumento da respiração à medida que os frutos mudam de coloração verde para amarelo-vermelho, com pico da taxa respiratória, à temperatura ambiente de 25°C, cerca de 3 dias após a colheita e evolução do etileno, consideradas relativamente baixas quando comparadas com outros frutos climatéricos (ALVES; CHITARRA; CHITARRA, 1995; CARRINGTON; KING, 2002).

A taxa de respiração é um excelente indicador da atividade metabólica e, portanto, é um guia útil para determinar o potencial de armazenamento de um determinado produto (WILLS; GOLDING, 2016). No entanto, alguns dos processos do amadurecimento não estão correlacionados com a atividade respiratória, mas com outros fatores como o ponto de colheita e o genótipo dos frutos, apontando que algumas espécies não se enquadram nas definições clássicas do padrão de atividade respiratória (AZZOLINI et al., 2005; CAVALINI, 2008). A fisiologia do amadurecimento é composta por uma série de processos interligados de maneira complexa, e por este motivo, muitas vezes o comportamento do fruto durante esta fase pode não corresponder aos padrões previamente estabelecidos, mas sim a padrões intermediários (BELTRAME, 2012).

Estudos envolvendo a utilização do hormônio etileno são úteis para distinguir frutos climatéricos e não-climatéricos, sendo essencial para definir o ponto de colheita, e técnicas de manipulação e armazenamento para prolongar a vida pós-colheita (ARCHBOLD; POMPER 2003). O processo de amadurecimento dos frutos pode ser acelerado através da aplicação exógena de etileno. Em frutos climatéricos, o etileno antecipa o período requerido para o pico climatérico (STEFFENS et al., 2006). Em frutos não climatéricos a aplicação do etileno pode iniciar um efeito transitório na respiração, com elevação imediata seguido de uma queda na atividade respiratória (ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992).

Comercialmente, é bastante difundido o uso do etileno gasoso e seus análogos na indução do amadurecimento ou climatização de frutos, o qual é adquirido na forma de gás

comprimido, em mistura com nitrogênio (SILVA et al., 2009). Frutos com maturidade fisiológica completa têm sido submetidos a tratamentos com etileno ou seus análogos, tanto na pré quanto na pós-colheita, visando a acelerar e uniformizar o seu amadurecimento, melhorar o seu padrão de qualidade e, ou, avaliar seus efeitos na fisiologia do amadurecimento (SILVA et al., 2012). A resposta dos frutos ao etileno exógeno depende da sensibilidade e da capacidade de produção autocatalítica deste hormônio nos tecidos, assim como da concentração, tempo de exposição e da temperatura de tratamento (LELIÈVE et al., 1997; SILVA et al., 2012). Frutos climatéricos no estádio de maturação recomendado para a colheita são sensíveis ao etileno exógeno, o qual estimula a produção autocatalítica deste hormônio, aumentando a taxa respiratória e acelerando o processo de amadurecimento (BRACKMANN; FREITAS, 2005). Frutos não climatéricos no estádio de maturação recomendado para a colheita apresentam baixa sensibilidade ao etileno e não possuem produção autocatalítica deste hormônio (CHITARRA; CHITARRA, 2005, BARRY; GIOVANNONI, 2007). Logo, após um período de exposição ao etileno, frutos não climatéricos retornam a atividade respiratória e metabólica anterior a exposição ao hormônio (ABDI et al., 1998; ARAÚJO, 2014). Frutos climatéricos em estádio de maturação pouco avançados podem apresentar um comportamento não climatérico de resposta ao etileno exógeno, pois ainda não desenvolveram os mecanismos necessários para a percepção e resposta a este hormônio (NHAM et al., 2015). Frutos não climatéricos em estádio inicial de maturação também apresentam baixa resposta ao etileno (FOX et al., 2005; CHEN et al., 2017).

Apesar de trabalhos anteriores indicarem que acerola apresenta um comportamento climatérico, faltam informações mais detalhadas sobre a resposta fisiológica dos frutos ao etileno exógeno durante o amadurecimento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar mudanças fisiológicas e físico-químicas em acerolas colhidas em dois estádios de maturação e tratadas com etileno exógeno.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Obtenção dos frutos e tratamentos

Frutos de aceroleiras 'Flor Branca' e 'Junko' de 7 e 3 anos de idade, respectivamente, sob espaçamento 4,0 x 5,0 m, irrigadas por microaspersão foram colhidos em pomar comercial localizado no Projeto de Irrigação Nilo Coelho, no Vale do São Francisco, Petrolina, PE. O município de Petrolina situa-se a 09°09' S e 40°22' W,

com altitude média de 365,5 m, clima Semiárido quente BS'W segundo KOPPEN, temperatura média anual de 25,9°C, precipitação média anual de 500 mm, irregularmente distribuídas, e umidade relativa média anual de 66%. Os tratos culturais foram os recomendados para a cultura (EMBRAPA, 2012). A 'Flor branca' apresenta frutos pequenos, frágeis e com curta vida pós-colheita. A 'Junko' possui frutos de tamanho superior à 'Flor branca', casca levemente irregular, polpa bastante firme e boa conservação pós-colheita.

Os frutos de coloração verde, observados visualmente foram colhidos ao final da fase de crescimento. No laboratório, realizou-se a classificação dos frutos em 2 estádios de maturação fisiológica, de acordo com a densidade: 1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³. Os frutos foram colhidos no início da manhã, e transportados ao Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, foram selecionados para eliminar frutos com danos mecânicos, defeitos ou incidência de doenças e insetos. Os frutos foram imersos em água (densidade de 1 g cm⁻³) e separados de acordo a densidade, considerando-se: densidade > 1 acerolas que imergiram na água, e densidade < 1 acerolas que emergiram na água. Então, os frutos foram lavados com água clorada contendo 600µl L⁻¹ de cloro ativo e secos a 20°C. Após esta etapa, os frutos foram randomizados para comporem as amostras experimentais. Os frutos dos dois estádios de maturação foram submetidos aos tratamentos com e sem etileno (99,98%) (White Martins, Salvador, BA, Brasil) nas concentrações de 0 ou 1.000 µl L-1. A aplicação do etileno foi realizada em potes herméticos de 1L por 24 horas a 12 ± 0,5°C. Para os frutos não tratados com etileno realizou-se o mesmo procedimento, acondicionando-os em potes herméticos de 1L por 24 horas. Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a 12 ± 0,5°C com umidade relativa de 90-95%. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em fatorial 2 x 2 (estádio de maturação x dose de etileno). Cada tratamento foi composto por quatro repetições de 250g de frutos acondicionados em cumbucas baixas de 5x10x17cm (altura x largura x comprimento). Frutos sadios foram avaliados para parâmetros físico-químicos no momento da colheita, após os tratamentos com etileno, e a cada 7 dias de armazenamento por um período de 14 dias.

4.2.2. Taxa respiratória

A taxa respiratória foi determinada por meio da produção de CO₂ através de um método de sistema fechado (CASTELLANOS; HERRERA, 2015). Os frutos foram

fechados em potes herméticos de 1L por 1 hora a 12°C. A taxa respiratória foi determinada após o tratamento dos frutos com etileno exógeno aos 7 e 14 dias armazenamento. As concentrações de CO₂ foram medidas com auxílio de um analisador de gases modelo PA 7.0 (Witt, Alcochete, Portugal). A taxa respiratória foi calculada como descrito em outros estudos (CASTELLANOS; HERRERA, 2015).

4.2.3. Incidência de podridão

Os sintomas de podridão avaliados foram a presença de lesões características de ataques de patógenos e presença de fungos. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos com podridão em cada amostra experimental.

4.2.4. Qualidade físico-química

A perda de massa representa a porcentagem de perda de massa em relação à inicial dos frutos na colheita. A resistência à compressão foi determinada como sendo a máxima força de compressão de 10% do diâmetro dos frutos utilizando um texturômetro modelo TA.XT.Plus (Extralab®, São Paulo, Brasil) adaptado com placa de pressão P/75. A cor da epiderme foi avaliada na região equatorial dos frutos, utilizando-se colorímetro modelo CR-400 (Minolta, Tóquio, Japão) e expressa em luminosidade (L) que correspondeu a variações do escuro/opaco (0) ao branco (100); chroma (C) que representou a saturação ou intensidade de cor do 0= cor impura para o 60= cor pura, e ângulo Hue (ºh) que representa a mudança de cor do azul (270°), verde (180°) para o amarelo (90°) e vermelho-roxo (0°) (MCGUIRE, 1992). Os sólidos solúveis (SS) foram determinados em uma amostra de suco extraído com auxílio de centrífuga doméstica a partir de todos os frutos sadios que compõem cada amostra experimental. Os SS foram determinados com o auxílio de um refratômetro digital portátil PAL-1 (Atago, São Paulo, Brasil). A acidez titulável (AT) foi determinada em 1 mL de suco diluído em 50 mL de água destilada titulados com uma solução de NaOH 0,1N até pH 8,1. A titulação foi realizada com um titulador automático Titrino plus (Metrohm, São Paulo, Brasil). Os resultados de AT foram expressos em porcentagem de ácido málico presente no suco. A relação SS/AT foi obtida pela divisão dos resultados de SS pela AT. A concentração de ácido ascórbico (AA) foi determinada pela titulação de 0,5 mL de suco de acerola diluídos em 100 mL de ácido oxálico 0,5% com uma solução com 0,02% de 2,6 diclorofenol indofenol (DFI) até coloração rósea clara permanente (STROHECKER; HENNING, 1967). Os resultados foram expressos em g.100 g⁻¹.

4.2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os tempos de avaliação 7 e 14 dias, as fontes de variação foram os estádios de maturação e aplicação de etileno. Para as análises na colheita, a fonte de variação foi o estádio de maturação com densidades diferentes. As comparações de médias foram avaliadas pelo teste de Tukey (P <0,05). Os dados de incidência de podridão e perda de massa fresca foram transformados pela equação arc seno√x/100. As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada tempo de avaliação e cultivar com auxílio dos pacotes *ExpDes.pt* (FERREIRA; NOGUEIRA; ALVES, 2013), a partir do software R versão 3.2.5 (R CORE TEAM, 2016).

4.3. Resultados e discussão

De acordo com os resultados das análises de variâncias obtidos, foi constatada interação significativa entre os fatores estádio de maturação e aplicação de etileno apenas para taxa respiratória, resistência à compressão, ângulo Hue e incidência de podridão para a cultivar Flor Branca. Não foi constatada interação significativa entre os fatores estádio de maturação e aplicação de etileno para acerolas 'Junko.

4.3.1 Taxa respiratória

De acordo a Figura 1, a taxa respiratória 1 dia após o tratamento de acerolas 'Flor Branca' com etileno exógeno foi menor em acerolas colhidas no estádio de maturação 2 sem aplicação de etileno (39,01 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹). Aos 7 dias houve diferenças significativas apenas para o fator estádio de maturação, com acerolas 'Flor Branca' na maturação 2 exibindo menor taxa respiratória. Aos 14 dias de armazenamento não foram constatadas diferenças significativas para doses de etileno e estádios de maturação em acerolas 'Flor Branca'. A taxa respiratória de acerolas 'Junko' não foi influenciada significativamente pela interação entre estádios de maturação e aplicação de etileno. Um e 7 dias após o tratamento com etileno, acerolas 'Junko' não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos para taxa respiratória. Aos 14 dias houve diferenças significativas apenas para o fator estádio de maturação, com acerolas 'Junko' colhidas na maturação 2 apresentando menor taxa respiratória (Figura 1). A respiração celular é um dos processos metabólicos mais importantes que ocorrem nos frutos, através da qual são

produzidos compostos intermediários e energia química necessária para reações vitais internas (SAQUET; STREIF; BANGERTH, 2000 WILLS; GOLDING, 2016).

Amostras de gás de cada parcela experimental foram retiradas para realização de leituras em cromatógrafo gasoso com limite de detecção de 10 µl L⁻¹ para determinação da produção de etileno, no entanto não foram detectadas concentrações do gás etileno para os períodos de armazenamento e tratamentos de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko'. Estudos anteriores indicam que a acerola apresenta um comportamento respiratório do tipo climatérico, com elevação da respiração à medida que os frutos mudam de coloração verde para o amarelo-vermelho. Em contrapartida, foram observadas taxas muito baixas de produção de etileno quando comparadas com outros frutos climatéricos (ALVES; CHITARRA; CHITARRA, 1995; CARRINGTON; KING, 2002). Em frutos climatéricos, a síntese autocatalítica de etileno é fundamental para desencadear o aumento na respiração e metabolismo dos frutos, acelerando as mudanças bioquímicas e fisiológicas que ocorrem durante o amadurecimento (SYMONS ET AL., 2012).

Frutos podem apresentar dois sistemas de produção de etileno, o sistema 1 que é funcional em frutos imaturos, tecidos vegetativos, frutos não climatéricos e frutos em estádio pré climatérico, com baixas produção de etileno e auto inibitório por etileno exógeno (BARRY, LLOP-TOUS; GRIERSON, 2000 CHITARRA CHITARRA, 2005). O sistema 2 é o responsável pela produção autocatalítica de etileno em frutos climatéricos durante o amadurecimento e senescência, com taxas de produção de etileno aumentada e estimulada por etileno exógeno (CHITARRA; CHITARRA, 2005; NHAM et al., 2015). Em frutos climatéricos, o sistema 1 é operante até o início do amadurecimento, quando então, a exposição às baixas concentrações de etileno sintetizadas pelo sistema 1 promove um grande aumento no seu sistema formador, sendo esse aumento considerado como sistema 2 (CHITARRA; CHITARRA, 2005; NHAM et al., 2015). De acordo com essas afirmações e com os resultados obtidos para a produção de etileno (< 10µl L-1) e taxa respiratória, não houve resposta de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' ao etileno exógeno. Estudos mostram que as respostas ao etileno exógeno são altamente dependentes do genótipo, padrão respiratório e estádio de maturação, como observado em goiabas (BELTRAME, 2012) e mangas (LALEL; SINGH; TAN, 2003) quando colhidos em estádios de maturação mais precoces e tratados com etileno exógeno, apresentam pico de atividade respiratória e produção de etileno. Em contrapartida, morangos tipicamente não climatéricos, quando tratados com etileno exógeno, exibem altas taxas de produção de dióxido de carbono (ELMI, et al., 2017). Estes estudos evidenciam que etileno exógeno pode influenciar de formas distintas frutos climatéricos e não climatéricos, de modo que, os processos envolvidos no metabolismo dos frutos, as mudanças bioquímicas e fisiológicas podem ser dependentes ou independentes de etileno, de acordo com a espécie de fruto (LÈLIEVRE et al., 1997; STEFFENS et al., 2011). Neste estudo, acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em diferentes estádios de maturação apresentaram respostas similares ao etileno ao longo do armazenamento. Desta forma, apesar dos estádios de maturação apresentarem diferenças físico-químicas ao longo do armazenamento, frutos com maturação mais avançada não desenvolveram o sistema 2 de produção autocatalítica de etileno característico de frutos climatéricos, o qual poderia resultar em mudanças físico-químicas nos frutos. Entretanto, frutos colhidos no estádio de maturação mais avançado apresentaram mudanças físico-químicas características do processo de amadurecimento, sugerindo que acerolas apresentam um padrão intermediário aos padrões climatérico e não climatérico.

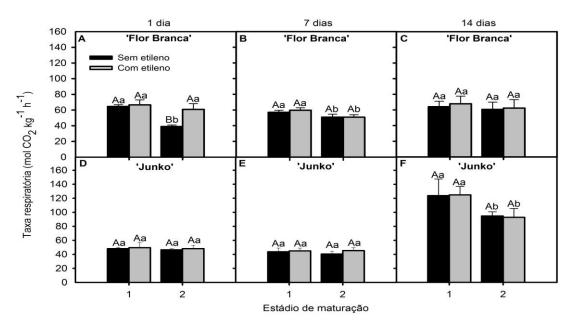


Figura 1. Taxa respiratória de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em dois estádios de maturação (1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³) com e sem aplicação de etileno e armazenadas a 12 ± 0,5°C e UR: 90-95%. A) Taxa respiratória de acerolas 'Flor Branca' na colheita, após o tratamento com etileno, B) aos 7 dias e C) aos 14 dias de armazenamento a 12°C; D) Taxa respiratória de acerolas 'Junko' na colheita, após o tratamento com etileno, E) aos 7 dias e F) aos 14 dias de armazenamento a 12°C. Letras maiúsculas comparam médias entre aplicação de etileno (Com e Sem etileno), letras minúsculas comparam médias entre estádio de maturação (1 e 2) em cada dia de avaliação. Barras verticais indicam o desvio padrão das médias.

4.3.2. Incidência de podridão

A incidência de podridão foi influenciada significativamente pela interação entre estádios de maturação e aplicação de etileno para acerolas 'Flor Branca' aos 14 dias de armazenamento a 12°C. Acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 e tratadas com etileno exibiram incidência de podridão de 18,61%, superior às observadas nos frutos sem aplicação de etileno (8,50%), frutos colhidos no estádio de maturação 1 não apresentaram incidência de podridão aos 14 dias. Para acerolas 'Junko' a incidência de podridão foi semelhante entre os tratamentos aos 14 dias, com média de 32% de podridão. Organismos fitopatogênicos liberam enzimas degradativas da parede celular para utilizar seus componentes como fonte de nutrientes (VAN KAN, 2006; CANTU, 2008) e com o avanço do amadurecimento a suscetibilidade à deterioração por estes microrganismos aumenta (SIDDIQUI et al., 2015). O aumento na síntese de etileno também esta associado ao ataque de patógenos (ELAD, 1990; BOLLER, 1995; PECH; BOUZAYEN; LATCHÉ, 2002). Quando as plantas estão expostas ao etileno uma sensibilidade aumentada às podridões é observada (PECH; BOUZAYEN; LATCHÉ 2002), como em goiabas 'Pedro Sato' tratadas com etileno exógeno (BELTRAME, 2012). Nesse sentido, a redução da resistência da epiderme de acerolas 'Flor Branca' colhidas na maturação 2 e tratadas com etileno exógeno, promoveu maior acessibilidade dos substratos da parede celular às enzimas degradantes, refletindo em um aumento do crescimento de patógenos. Essas observações são confirmadas através dos resultados opostos observados para acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 sem aplicação de etileno.

4.3.3. Qualidade físico-química

A resistência à compressão de acerolas 'Flor Branca' 1 dia após o tratamento com etileno exógeno foi maior em frutos colhidos no estádio de maturação 1, independente da aplicação de etileno (Figura 2). Aos 7 e 14 dias de armazenamento, acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 e tratados com etileno apresentaram menor resistência à compressão. 1 dia após o tratamento com etileno exógeno, assim como aos 7 e 14 dias de armazenamento, acerolas 'Junko' exibiram resistência à compressão semelhantes entre os estádios de maturação e aplicação de etileno exógeno (Figura 2).

A redução da resistência de um fruto é regulada por enzimas hidrolíticas, tais como, a poligalacturonase e pectinametilesterase que promove uma solubilização intensa

de pectina, constituinte da parede celular, resultando em perda de resistência com a maturidade (SILVA et al., 2009). A separação de componentes da parede celular e a redução da pressão de turgor também contribuem para as mudanças na textura de frutos (PONCE et al., 2010). A menor resistência à compressão de acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 tratadas com etileno pode estar correlacionada com o aumento das atividades dessas enzimas, devido a maior ação do etileno, acelerando a perda de resistência do fruto. Frutos de goiaba 'Pedro Sato' em estádio de maturação menos avançado submetidas ao tratamento com etileno exibiram menor firmeza de polpa, comparada aos frutos na colheita (BELTRAME, 2012). Mangas 'Ataulfo' tratadas com diferentes concentrações de etileno apresentaram frutos com menor firmeza, comparados com frutos não tratados (MONTALVO et al., 2007). Estudos mostraram que a expressão gênica e a atividade de proteínas estruturais e modificadoras de polissacarídeos de morangos respondem ao etileno, embora o efeito desse hormônio no metabolismo da parede celular ainda não seja claro (VILLARREAL; MARTÍNEZ; CIVELLO, 2009; VILLARREAL et al., 2010; MERCHANTE et al., 2013; VILLARREAL et al., 2016).

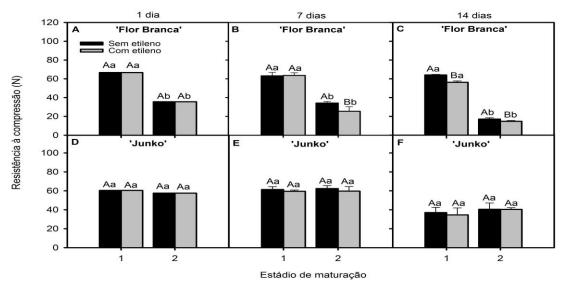


Figura 2. Resistência à compressão de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em dois estádios de maturação (1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm³) com e sem aplicação de etileno e armazenadas a 12 ± 0,5°C e UR: 90-95%. A) Resistência à compressão de acerolas 'Flor Branca' na colheita, após o tratamento com etileno, B) aos 7 dias e C) aos 14 dias de armazenamento a 12°C; D) Resistência à compressão de acerolas 'Junko' na colheita, após o tratamento com etileno, E) aos 7 dias e F) aos 14 dias de armazenamento a 12°C. Letras maiúsculas comparam médias entre aplicação de etileno (Com e Sem etileno), letras minúsculas comparam médias entre estádio de maturação (1 e 2) em cada dia de avaliação. Barras verticais indicam o desvio padrão das médias.

Acerolas 'Flor Branca' no estádio de maturação 1 apresentaram maior ângulo Hue (°h) 1 dia após o tratamento com etileno, independente da aplicação de etileno, indicando coloração mais verde em relação ao estádio de maturação 2 (Figura 3). Aos 7 dias de armazenamento, acerolas 'Flor Branca colhidas no estádio de maturação 2 e tratadas com etileno apresentaram menor ºh que frutos colhidos no estádio de maturação 1 e não tratados com etileno. Aos 14 dias de armazenamento, acerolas 'Flor Branca' colhidas no estádio de maturação 2 apresentaram coloração mais vermelha, independente da aplicação de etileno. 1 dia após o tratamento com etileno, acerolas 'Junko' exibiram médias de ºh semelhantes entre os estádios de maturação. Aos 7 dias de armazenamento, acerolas 'Junko' colhidas no estádio de maturação 2 apresentaram maior perda de coloração verde. Comportamento semelhante aos 14 dias de armazenamento com redução mais acentuada de ºh em acerolas 'Junko' colhidas na maturação 2, independente da aplicação de etileno (Figura 3).

A perda de coloração verde é decorrente da quebra da estrutura da molécula de clorofila, envolvendo a atividade da enzima clorofilase, mudanças de pH, de ácidos e do aumento dos processos oxidativos. No entanto, o aumento da atividade da enzima clorofilase está geralmente associado com a produção e ação do etileno durante o amadurecimento do fruto (WILLS et al., 1998; BELTRAME, 2012). Mesmo em frutos não climatéricos, o etileno em baixas concentrações possui um papel importante em eventos associados à maturação, dentre eles, o aumento da atividade das clorofilases e consequente degradação da clorofila (GOLDSCHMIDT, 1997), como em citrus e abacaxi (PAUL; PANDEY; SRIVASTAVA, 2012), assim como, no acúmulo de pigmentos como antocianinas em morangos (VILLARREAL et al., 2010; ELMI et al., 2017). Frutos considerados climatéricos como o maracujá e goiaba, quando submetidos à aplicação de etileno exógeno exibiram redução do ºh, caracterizando coloração amarela (BELTRAME, 2012), e estímulo no acúmulo de caroteno em mangas (MONTALVO et al., 2007).

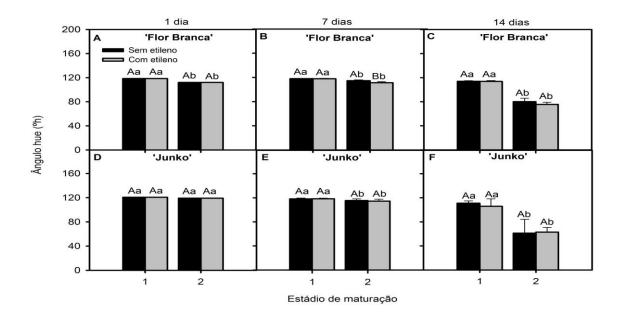


Figura 3. Ângulo Hue (°h) da epiderme de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas em dois estádios de maturação (1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³) com e sem aplicação de etileno e armazenadas a 12 ± 0,5°C e UR: 90-95%. A) Ângulo Hue da epiderme de acerolas 'Flor Branca' na colheita, após o tratamento com etileno, B) aos 7 dias e C) aos 14 dias de armazenamento a 12°C; D) Ângulo Hue da epiderme de acerolas 'Junko' na colheita, após o tratamento com etileno, E) aos 7 dias e F) aos 14 dias de armazenamento a 12°C. Letras maiúsculas comparam médias entre aplicação de etileno (Com e Sem etileno), letras minúsculas comparam médias entre estádio de maturação (1 e 2) em cada dia de avaliação. Barras verticais indicam o desvio padrão das médias.

A aplicação de etileno exógeno não apresentou efeito significativo para os parâmetros de cor da epiderme (luminosidade e croma), assim como para a perda de massa fresca, SS, AT, SS/AT, e AA, no entanto foram observadas diferenças significativas entre estádios de maturação em ambas cultivares (Tabelas 1 e 2). Um dia após o tratamento com etileno exógeno, a luminosidade e intensidade de cor (croma) da epiderme de acerolas 'Flor Branca' não diferiram entre os estádios de maturação (Tabela 1). Os teores de SS, relação SS/AT e concentração de AA de acerolas 'Flor Branca' foram superiores para frutos colhidos no estádio de maturação 1, enquanto a AT foi superior para frutos colhidos no estádio de maturação 2. Aos 7 dias de armazenamento, acerolas 'Flor Branca' colhidas na maturação 2 apresentaram maior luminosidade e intensidade de cor (croma) da epiderme e maior AT, comparadas as acerolas colhidas na maturação 1. No entanto, acerolas 'Flor Branca' colhidas na maturação 1 aos 7 dias exibiram maior percentual de perda de massa fresca, maior SS, relação SS/AT e concentração de AA. Aos 14 dias de armazenamento, acerolas 'Flor Branca' colhidas na maturação 1 exibiram epiderme mais clara, maior perda de massa fresca, maior SS, relação SS/AT e

concentração de AA, enquanto frutos colhidos na maturação 2 apresentaram polpa com maior AT. A intensidade de cor (croma) da epiderme aos 14 dias de armazenamento, não diferiu entre os estádios de maturação (Tabela 1).

Tabela 1. Luminosidade (L) e croma (C) da epiderme, perda de massa fresca (PM), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, concentração de ácido ascórbico (AA) em acerolas 'Flor Branca' colhidas em dois estádios de maturação (1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³) com e sem aplicação de etileno. Avaliações foram realizadas ao 1, 7 e 14 dias de armazenamento a 12°C e UR: 90-95%.

	1 dia										
Maturação	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	53,6 a	38,9 a	0,00	8,3 a	1,51 b	5,51 a	3,07 a				
2	55,6 a	39,2 a	0,00	7,6 b	1,62 a	4,70 b	2,56 b				
CV (%)	2,37	3,35	0,00	2,10	2,44	1,55	3,86				
				7 dias							
Maturação	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	55,0 b*	41,1 b	4,29 a	8,1 a	1,78 b	4,57 a	3,19 a				
2	58,7 a	42,6 a	3,13 b	7,5 b	1,85 a	4,05 b	2,77 b				
CV (%)	3,26	2,39	10,41	2,50	3,03	2,18	4,22				
				14 dias							
Maturação	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	58,7 a	44,2 a	8,22 a	8,2 a	1,83 b	4,47 a	3,03 a				
2	55,6 b	43,2 a	5,90 b	7,5 b	1,97 a	3,80 b	2,80 b				
CV (%)	1,10	3,48	8,94	0,90	1,92	1,93	6,04				

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Um dia após o tratamento com etileno exógeno de acerolas 'Junko' a luminosidade, intensidade de cor (croma) da epiderme, SS e relação SS/AT não diferiram entre os estádios de maturação. A concentração de AA foi superior para frutos colhidos no estádio de maturação 1, enquanto a AT foi superior para frutos colhidos no estádio de maturação 2 (Tabela 1). Aos 7 dias de armazenamento a 12°C, acerolas 'Junko' colhidas na maturação 1 exibiram médias superiores para luminosidade e intensidade de cor (croma) da epiderme, perda de massa fresca, SS, relação SS/AT e concentração de AA, comparadas a acerolas colhidas na maturação 2, enquanto acerolas colhidas na maturação 2 exibiram maior AT (Tabela 2). Resultados semelhantes foram constatados aos 14 dias em acerolas 'Junko', no entanto, os SS e concentração de AA não diferiram estatisticamente entre os estádios de maturação. Diversos estudos com frutos de padrão respiratório do tipo climatérico e não climatérico foram realizados com a finalidade de avaliar os efeitos positivos e negativos de etileno e seus análogos na fisiologia pós-

colheita. Nesses estudos alguns aspectos do amadurecimento foram modulados pelo etileno, enquanto outros permaneceram completamente insensíveis.

Estudos com frutos climatéricos evidenciaram mudanças físico-químicas de forma antecipada quando tratados com etileno exógeno, como em mangas 'Ubá' (SILVA et al., 2012) e maracujá amarelo, observada pela redução antecipada da AT, menor teor SS e concentração de AA (BELTRAME, 2012). Para frutos não climatéricos como o morango em diferentes estádios de maturação, foram observadas maior acúmulo de açucares e maior perda de peso fresco, no entanto, nenhuma diferença foi encontrada para a AT, luminosidade e intensidade de cor (croma) quando estes frutos foram tratados com etileno (VILLARREAL et al., 2010; TIAN et al., 2000; ELMI et al., 2017; COSTA; PINTADO; ALMEIDA, 2014).

Tabela 2. Luminosidade (L) e croma (C) da epiderme, perda de massa fresca (PM), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, concentração de ácido ascórbico (AA) em acerolas 'Junko' colhidas em dois estádios de maturação (1 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³, e 2 = frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³) com e sem aplicação de etileno. Avaliações foram realizadas ao 1, 7 e 14 dias de armazenamento a 12°C e UR: 90-95%.

	,										
	1 dia										
Maturação	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	50,9 a	35,9 a	0,00	7,6 a	1,95 b	3,91 a	3,74 a				
2	51,2 a	35,7 a	0,00	7,4 a	2,16 a	3,44 a	3,57 b				
CV (%)	2,18	2,99	0,00	1,91	1,36	2,61	1,86				
				7 dias							
Maturação	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	52,0 a	35,0 a	4,97 a	7,9 a	2,22 b	3,56 a	3,88 a				
2	50,2 b	32,5 b	4,37 b	7,5 b	2,44 a	3,10 b	3,72 b				
CV (%)	2,74	5,59	3,84	3,32	3,15	2,48	2,37				
				14 dias							
Maturação -	L	С	PM (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 g ⁻¹)				
1	51,8 a	34,8 a	7,98 a	6,8 a	1,84 b	3,71 a	3,55 a				
2	41,8 b	26,4 b	7,06 b	7,0 a	2,18 a	3,23 b	3,48 a				
CV (%)	6,45	9,0	3,72	5,21	3,58	2,84	4,46				

^{*}Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Como acontece com frutos climatéricos, as acerolas colhidas no estádio de maturação 2 (frutos com epiderme de cor verde com densidade < 1) apresentaram mudanças físico-químicas características do processo de amadurecimento, como mudança de coloração verde para o vermelho e perda de resistência do fruto. No entanto, não foram observadas outras mudanças características de frutos climatéricos como a síntese autocatalítica de etileno, aumento na atividade respiratória, acúmulo de SS e

redução do AA e AT em resposta ao etileno. Embora estudos tenham classificado a acerola como climatérica (ALVES et al., 1995; CARRINGTON; KING, 2002), a partir dos resultados encontrados no presente trabalho, é possível sugerir que acerolas tenham um padrão intermediário aos padrões climatérico e não climatérico. Na pós-colheita, é desejado que o amadurecimento completo de um fruto compreenda os melhores padrões de qualidade para o consumo (WILLS et al., 1998). Com base nesse conceito, as acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio 2 apresentaram características desejáveis para o consumo após 14 dias de armazenamento, enquanto que, acerolas de ambas cultivares colhidas no estádio 1 não desenvolveram o amadurecimento ao final do experimento, podendo ser consideradas frutos com estádio de maturação menos avançado. Tornando a classificação de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' com densidade < 1 um método eficaz de indicador de ponto de colheita de frutos destinados ao consumo *in natura*.

A aplicação exógena de etileno às acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' não influenciou na maturação dos frutos, como ocorre em muitos frutos climatéricos. É possível que níveis basais do sistema 1 de produção de etileno, não detectados no presente trabalho, foram suficientes para desencadear e saturar as repostas celulares responsáveis pelas mudanças físico-químicas observadas em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio de maturação 2, visto que não houve efeito do etileno exógeno. Entretanto, estudos indicam que o uso de inibidor da ação do etileno, no momento da colheita, não possui efeito significativo no processo de amadurecimento de acerolas 'Flor Branca' e 'Junco' (dados não publicados), sugerindo que o etileno não possui um papel importante nas mudanças físico-químicas dos frutos após a colheita. Outros estudos sugerem que acerolas podem ser sensíveis ao etileno, com possíveis implicações no manuseio póscolheita, havendo a necessidade de manter a fruta separada de outros frutos produtores deste hormônio (CARRINGTON; KING, 2002). No entanto, o presente estudo evidencia que etileno não apresenta efeito importante no processo de amadurecimento pós-colheita de acerolas. A aplicação exógena de etileno influenciou apenas um aumento da taxa respiratória logo após o tratamento, o desenvolvimento da cor da epiderme e perda da resistência à compressão para acerolas 'Flor Branca', no entanto, não exibiu efeito sobre os demais atributos de qualidade. Os resultados mostram que para a classificação de frutos climatéricos e não climatéricos é necessário levar em consideração as peculiaridades de cada genótipo.

4.4. Conclusões

Não foi observada atividade respiratória climatérica típica para ambas cultivares em resposta ao etileno, com base nos períodos de avaliação e temperatura de armazenamento. A aplicação exógena de etileno às acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' não influenciou na maturação dos frutos. As acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio de maturação 2 (frutos com coloração verde (°h > 100°) e densidade < 1 g cm⁻³) apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho durante 14 dias de armazenamento a 12°C. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' colhidas no estádio 1 (frutos maduros com coloração verde (°h > 100°) e densidade > 1 g cm⁻³) não apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho durante o armazenamento a 12°C. A classificação de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' com densidade < 1 mostrou-se um método eficaz como indicador de ponto de colheita de frutos destinados ao consumo *in natura*.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); ao produtor pelo fornecimento dos frutos; à Embrapa Semiárido e equipe do Laboratório de Fisiologia Pós-colheita; e à Universidade Federal do Vale do São Francisco, pelo suporte para execução dos experimentos.

Referências

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

ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALVEIT, M. E. JR. **Ethlene in plant biology**. San Diego: Academic Press, 1992. 414p.

ALVES R. E.; CHITARRA A. B.; CHITARRA M. I. F. Postharvest physiology of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits: Maturation changes, respiratory activity and refrigerated storage at ambient and modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, v. 370, p. 223 – 229, 1995.

ANCOS, B. et al. Influence of orange cultivar and mandarin postharvest storage on polyphenols, ascorbic acid and antioxidant activity during gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, 2016.

- ARAÚJO, F. F. de. Alterações pós-colheita e resposta ao etileno em frutos de abobrinha 'Menina Brasileira'. 2014. 68p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- ARCHBOLD, D. D.; POMPER, K. W. Ripening pawpaw fruit exhibit respiratory and ethhylene climacterics. **Postharvest Biology and Technology**, v.30, p.99-103, 2003.
- ASSIS, S.A. de et al. Acerola: importance, culture conditions, production and biochemical aspects. **Fruits**, v. 63, p. 93-101, 2008.
- AZZOLINI, M. et al. Ripening of 'Pedro Sato' guava: study on its climateric or non-climateric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, p. 299-306, 2005.
- BARRY, C. S.; LLOP-TOUS, M. I.; GRIERSON, D. The regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. **Plant Physiology**, v.123, p.979-986, 2000.
- BARRY, C. S.; GIOVANNONI, J. J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 26, p. 143-159, 2007.
- BRACKMANN, A.; FREITAS, S. T. de. Efeito do 1-MCP (1-Metilciclopropeno) na qualidade pós-colheita de maçãs cultivar Gala em diferentes estádios de maturação. **Revista da FZVA**, v.12, n.1, p.44-52, 2005.
- BELTRAME, A. E. G. de. **Fisiologia do amadurecimento de maracujá-amarelo e goiaba 'Pedro Sato' ligados ou não às plantas**. 2012. 114p. Tese (Doutorado em Ciências Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- BOLLER, T. Chemoperception of microbial signals in plant cells. Annual Review of Plant **Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.189–214, 1995.
- CANTU, D. et al. The intersection between cell wall disassembly ripening, and fruit susceptibility to Botrytis cinerea. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.105, p.859–864, 2008.
- CARRINGTON, S. C. M.; KING, G. R. A. Fruit development and ripening in Barbados cherry, *Malpighia emarginata* DC. **Scientia Horticulturae**, v. 92, n. 1, p. 1–7, 2002.
- CAVALINI, F. C. **Fisiologia do amadurecimento, senescência e comportamento respiratório de goiabas 'Kumagai' e 'Pedro Sato'**. 2008. 90p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CASTELLANOS, D. A.; HERRERA, A. O. Mathematical models for the representation of some physiological and quality changes during fruit storage. **Journal of Post-Harvest Technology**, v. 3, p. 18–35, 2015.
- CHEN, S. W. et al. Effect of harvest season, maturity and storage temperature on storability of carambola 'Honglong' fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 42-51, 2017.

- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio.** 2. ed, Lavras: UFLA, 2005, p. 783.
- COSTA, D. V. T. A.; PINTADO, M.; ALMEIDA, D. P. F. Postharvest ethylene application affects anthocyanin content and antioxidant activity of blueberry cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1, n.1017, p.525-530, 2014.
- ELAD, Y. Production of ethylene in tissues of tomato, pepper, French bean and cucumber in response to infection by *Botrytis cinerea*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.36, p.277–282, 1990.
- ELMI, F. et al. Effect of ethylene on postharvest strawberry fruit tissue biochemistry. **Acta Horticulturae**, v.4, n.1156, p.667-672, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coleção Plantar: Acerola**. Brasília, DF, 2012. 150p.
- FERREIRA, E. B.; NOGUEIRA, P. P.; ALVES, C. D. ExpDes.pt: **Experimental Designs package**, 2013. Disponível em: http://cran.r-project.org/package=ExpDes.pt. Acesso em: 16 maio. 2016.
- FOX, A. J. et al. Ripening induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. **Hortscience** v. 40, p. 732-736, 2005.
- GOLDSCHIMIDT, E. E. Ripening of citrus and other non-climateric fruits: a role for ethylene. **Acta Horticulturae**, n.463, p.325-334, 1997.
- KAYS, S. J.; PAULL, R. E. Postharvest biology. Athens: Exxon Press, 2004, 568p.
- LALEL, H. J. D.; SINGH, Z.; TAN, S. C. Maturity stage at harvest affects fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds in 'Kensington Pride' mango. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.78, p.225-233, 2003.
- LELIÈVRE, J. M. et al. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 727-739, 1997.
- MACIEL, M. I. S. et al. Características sensoriais e físico-químicas de geléias mistas de manga e acerola. Boletin CEPPA, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 247-256, 2009.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Hortscience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.
- MERCHANTE, C. et al. Ethylene is involved in strawberry fruit ripening in anorgan-specific manner. **Journal of Experimental Botany**, v.64, p.4421–4439, 2013.
- MONTALVO, E. et al. Application of exogenous ethylene on postharvest ripening of refrigerated 'Ataulfo' mangoes. **Science Direct**, v.40, p.1466-1472, 2007.

- NHAM, N.T. et al. A transcriptome approach towards understanding the development of ripening capacity in 'Bartlett' pears (*Pyrus communis* L.). **BMC Genomics**, v.16, p.1-20, 2015.
- OBANDO, J. et al. Creating climateric melon fruit fron non-climateric parentals: postharvest quality implications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT HORMONE ETHYLENE, 2007, Dordrecht. Advances in plant ethylene research: **proceedings...** Dordrecht: Kluver, 2007. p. 197-205.
- PAUL, V.; PANDEY, R.; SRIVASTAVA, G. C. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene Na overview. **Journal of Food Science and Techonology**, v.49, p.1-21, 2012.
- PECH, J-CLAUDE; BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A. Physiological, biochemical, and molecular aspects of ethylene biosynthesis and action, in: **Postharvest Physiology an Pathology of Vegetables.** (ed: BARTZ, A. J.), CRC Press, 2002, p.271-310.
- PONCE, N. M. et al. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on tree ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 2562-2570, 2010.
- R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em: 16 jun. 2016.
- REKHA, C. et al. Ascorbic Acid, Total Phenol Content and Antioxidant Activity of Fresh Juices of Four Ripe and Unripe Citrus Fruits. **Chemical Science Transactions**, v. 1, n. 2, p. 303-310, 2012.
- SAQUET, A. A.; STREIF, J.; BANGERTH, F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in 'Conference' pears and 'Jonagold' apples during controlled atmosphere storage. **Journal of Hortcultural Science & Biotechnology**, v. 75, p. 243-249, 2000.
- SIDDIQUI, M. W. Postharvest biology and technology of horticultural crops: **Principles and practices for quality maintenance.** Boca Raton: CRC Press. 2015, 572p.
- SILVA, D.F.P. et al. Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar 'Sunrise Golden'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.669-675, 2009.
- SILVA, P.A. et al. Modificações nas atividades da poligalacturonase e pectinametilesterase em morangos armazenados à temperatura ambiente. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1953-1958, 2009.
- SILVA, D. P. S. da et al. Amadurecimento de manga 'Ubá' com etileno e carbureto de cálcio na pós-colheita. **Ciência Rural**, v.42, n.2, p.213-220, 2012.
- STEFFENS, C.A. et al. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.434-440, 2006.

STEFFENS, C.A. et al. O tratamento pré-colheita com aminoetoxivinilglicina ou ácido giberélico preserva a qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia'. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 222-227, 2011.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados,** Madrid: Paz Montolvo, 1967. 428p.

SYMONS, G.M. et al. Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.13, p.4741–4750, 2012.

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

VAN KAN, J.A.L. Licensed to kill: the lifestyle of a necrotrophic plant pathogen. **Trends in Plant Science**, v.11, p.247–253, 2006.

VILLARREAL, N. M.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M. Influence of plant growth regulators on polygalacturonase expression in strawberry fruit. **Plant Science**, v.176, p.749–757, 2009.

VILLARREAL, N. M. et al. Effect of ethyleneand 1-MCP treatments on strawberry fruit ripening. **Journal of the Science of Food and Agricultre**, v.90, p.683–689, 2010.

VILLARREAL, N. M. et al. Novel insights of ethylene role in strawberry cell wall metabolism. **Plant Science**, v.252, p.1-11, 2016.

WILLS, R.; GOLDING, J. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. 6 ed. Wallingford: CAB International, 2016.

WILLS, R. et al. Introducción a la fisiología y manipulacíon poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. (Trad. GONZÁLES, J. B.) 2nd ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 240p.

5. Uso de atmosfera modificada para a manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas

Bruna Silva Ribeiro^a, Sérgio Tonetto de Freitas^b

^aLaboratório de Fisiologia Pós-colheita – Embrapa Semirárido, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, 56300-990, Petrolina, PE, Brasil. Email: brlumma@gmail.com

^bLaboratório de Fisiologia Pós-colheita, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Embrapa Semiárido, 56302-970, Petrolina, PE, Brasil. Email: sergio.freitas@embrapa.br

RESUMO

Acerolas são altamente perecíveis após a colheita, neste sentido, são necessárias tecnologias para manter a qualidade e prolongar a vida pós-colheita. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de filmes de polietileno de baixa densidade com diferentes espessuras na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas destinadas ao consumo in natura. Acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foram colhidas com coloração verde (°h variando de 118 a 120) e densidade < 1 g cm⁻³ e armazenadas em embalagens de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 10, 20 e 40 µm e tratamento controle (cumbucas ventiladas). Após os tratamentos, os frutos foram armazenados a 12 ± 0,5°C e UR: 90-95%. Filmes PEBD com maior espessura resultaram em menores níveis de O₂ e maiores de CO₂ dentro das embalagens durante o armazenamento refrigerado de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko'. O uso do PEBD com 10 µm retardou o amadurecimento de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', possibilitando manutenção da resistência à compressão, coloração verde, teor de SS, AT, concentração de AA e redução da perda de massa fresca. O metabolismo respiratório de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foi altamente reduzido na embalagem PEBD de 40 µm. Filmes de PEBD com 20 e 40 µm resultaram na maior incidência de frutos podres e fermentados durante o armazenamento refrigerado por 21 dias.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* D.C.; filmes de polietileno; permeabilidade; espessura, vida útil.

5.1. Introdução

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C) é uma espécie originária das Ilhas do Caribe, com importância econômica crescente no Brasil, principalmente na região Nordeste, onde se adaptou devido às condições edafoclimáticas favoráveis (RITZINGER; RITZINGER, 2011). O estímulo ao consumo de acerolas *in natura* e dos seus subprodutos tem aumentado ao longo dos anos, em razão das altas concentrações de ácido ascórbico e outros compostos bioativos (ASSIS et al., 2008; MACIEL et al., 2009 ANCOS et al.,

2016). Acerolas são altamente perecíveis. Neste sentido, são necessários métodos que prolonguem a qualidade pós-colheita, com a redução da taxa de deterioração, visando, sobretudo, proporcionar as condições adequadas que permitam redução da taxa do metabolismo normal, sem alterações na sua fisiologia (SANTOS; SILVA; ALVES, 2006; PALIYATH et al., 2008).

A embalagem de atmosfera modificada (AM) é utilizada como método de conservação para prolongar a vida útil de frutos e hortaliças (SANDHYA, 2010; BANDA et al., 2015). O sistema de AM consiste em modificar a concentração da atmosfera em torno de um produto embalado para atingir o nível adequado de gases, principalmente níveis baixos de O₂ e níveis moderados de CO₂, que resultam na diminuição da intensidade dos processos fisiológicos e bioquímicos de amadurecimento e senescência, produção de etileno e a atividade e ação de microorganismos, mantendo as propriedades de qualidade e segurança microbiológica do produto por mais tempo (GORRIS; TAUSCHER, 1999; MANGARAJ et al., 2015; BANDA et al., 2015). A modificação dos níveis de gás dentro das embalagens é uma conseqüência da combinação entre o consumo de O2 e produção de CO₂ no processo respiratório e as trocas gasosas que ocorrem através da embalagem (MAHAJAN et al., 2007; CASTELLANOS et al., 2016), com a finalidade de manter um equilíbrio interno com a concentração adequada de gases. Se o equilíbrio entre as reações metabólicas e a permeabilidade da embalagem não é adequada para a obtenção da atmosfera modificada, então a vida útil pode ser reduzida em vez de estendida (MANGARAJ et al., 2014; CASTELLANOS et al., 2016). As taxas da troca de gases através da embalagem dependem do material e da sua permeabilidade, visto que, os filmes que compõem a embalagem são selecionados para características de permeabilidade específicas e mudanças nestas características ao longo do tempo (MAHAJAN et al., 2007; KWON et al., 2013).

Fatores como a espécie, cultivar, estádio de desenvolvimento, além das práticas culturais contribuem e influenciam na resposta do produto para a atmosfera gerada (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009). Para acerolas *in natura*, estudos sugerem que o uso de filme PVC aumenta a vida útil dos frutos, embora não afete a perda de ácido ascórbico com o método de conservação (ALVES; CHITARRA; CHITARRA, 1995; ARAÚJO et al., 2009). Em contraste, Maciel et al., (2004) relatam que o uso de biofilme de fécula de mandioca e refrigeração conservou maior teor de ácido ascórbico e estendeu a vida útil de acerolas em estádio de maturação pouco avançado, mantendo a qualidade aceitável por um período de até 15 dias. Entretanto, embora a aplicação comercial da AM

tenha se tornado técnica muito comum, tendo em vista que a AM requer baixo custo operacional, o seu emprego exige conhecimento da fisiologia do fruto, do estádio de maturação, níveis adequados de CO₂ e O₂, das características do filme e fatores ambientais de armazenamento, tais como temperatura e umidade relativa (TOIVONEN; BRANDENBURT; LUO, 2009). Estudos sobre AM foram realizados para diversas frutíferas, no entanto, pouco é conhecido sobre quais são os principais materiais que podem ser utilizados para acerolas (MACIEL et al., 2004; AZEREDO et al., 2012). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de filmes de polietileno de baixa densidade com diferentes espessuras na manutenção da qualidade pós-colheita de acerolas destinadas ao consumo *in natura*.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Obtenção dos frutos e tratamentos

Frutos de aceroleiras 'Flor Branca' e 'Junko' de 7 e 3 anos de idade, respectivamente, sob espaçamento 4,0 x 5,0 m, irrigadas por microaspersão foram colhidas em pomar comercial localizado no Projeto de Irrigação Nilo Coelho, no Vale do São Francisco, Petrolina, PE. O município de Petrolina situa-se a 09°09' S e 40°22' W, com altitude média de 365,5 m, clima Semiárido quente BS'W segundo KOPPEN, temperatura média anual de 25,9°C, precipitação média anual de 500 mm, irregularmente distribuídas, e umidade relativa média anual de 66%. Os tratos culturais foram os recomendados para a cultura (EMBRAPA, 2012). A 'Flor branca' apresenta frutos pequenos, frágeis e com curta vida pós-colheita. A 'Junko' possui frutos de tamanho superior à 'Flor branca', casca levemente irregular, polpa bastante firme e boa conservação pós-colheita.

Foram colhidos frutos maduros com coloração verde (°h variando de 118 a 120) e densidade < 1 g cm⁻³, pois possuem capacidade de mudança de coloração do verde para o vermelho após a colheita. Os frutos foram colhidos no início da manhã, e transportados ao Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, foram selecionados para eliminar frutos com danos mecânicos, defeitos ou incidência de doenças e insetos. Então, os frutos foram lavados com água clorada contendo 600µl L⁻¹ de cloro ativo e secos a 20°C. Após esta etapa, os frutos foram randomizados para comporem as amostras experimentais. Amostras de 300g de frutos foram embaladas e seladas, com auxilio de seladora manual, em sacos de filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) comercialmente utilizados para embalagem de alimentos com 10, 20 e 40 µm de espessura

e tamanho 19 X 36 cm (largura X comprimento). Frutos não embalados e acondicionados em cumbucas baixas ventiladas de 5x10x17cm (altura x largura x comprimento) foram usados como tratamento controle. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado sendo cada tratamento composto por quatro repetições. Os frutos foram armazenados a 12°C com umidade relativa de 90-95%. Os frutos sadios foram caracterizados no momento da colheita, e avaliados aos 14 e 21 dias de armazenamento para parâmetros físico-químicos. No momento da colheita, acerolas 'Flor Branca' apresentaram taxa respiratória (54 mol CO₂ kg⁻¹h⁻¹), resitência à compressão (50,0 N), luminosidade (49,6), croma (37,0) e °h (120,0°), teor de SS (8,03%), AT (1,95% de ácido málico), relação SS/AT (4,11) e concentração de AA (3,80 g.100g⁻¹). Enquanto que, acerolas 'Junko' apresentaram taxa respiratória (62 mol CO₂ kg⁻¹h⁻¹), resistência à compressão (55,1 N), luminosidade (52,9), croma (38,3) e °h (118,0°), teor de SS (8,10%), AT (2,31% de ácido málico), relação SS/AT (3,51) e concentração de AA (4,05 g.100g⁻¹).

5.2.2. Composição da atmosfera interna

As concentrações de O₂ e CO₂ dentro da embalagem foram medidas com auxílio de um analisador de gases modelo PA 7.0 (Witt, Alcochete, Portugal), a cada 7 dias por um período de 21 dias de armazenamento. As leituras foram realizadas diretamente nas embalagens de filmes de polietileno, com auxílio de agulha ligada ao analisador de gases (BANDA et al., 2015).

5.2.3. Taxa respiratória

A taxa respiratória foi determinada por meio da produção de CO₂ através de um sistema fechado (CASTELLANOS; HERRERA, 2015). Os frutos foram fechados em potes herméticos de 1L por 1 hora a 12°C. A taxa respiratória foi determinada aos 14 e 21 dias de armazenamento. As concentrações de CO₂ foram medidas com auxílio de um analisador de gases modelo PA 7.0 (Witt, Alcochete, Portugal). A taxa respiratória foi calculada como descrito em outros estudos (CASTELLANOS; HERRERA, 2015).

5.2.4. Incidência de podridão

Os sintomas de podridão avaliados foram à presença de lesões características de ataques de patógenos e presença de fungos. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos com podridão em cada amostra experimental.

5.2.5. Qualidade físico-química

A perda de massa representa a porcentagem de perda de massa em relação à inicial dos frutos na colheita. A resistência à compressão foi determinada como sendo a máxima força de compressão de 10% do diâmetro dos frutos utilizando um texturômetro modelo TA.XT.Plus (Extralab®, São Paulo, Brasil) adaptado com placa de pressão P/75. A cor da epiderme foi avaliada na região equatorial dos frutos, utilizando-se colorímetro modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) e expressa em luminosidade (L) que correspondeu a variações do escuro/opaco (0) ao branco (100); croma (C) que representou a saturação ou intensidade de cor do 0 = cor impura para o 60 = cor pura, e ângulo Hue (0h) que representa a mudança de cor do azul (2700), verde (1800) para o amarelo (90°) e vermelho-roxo (0°) (MCGUIRE, 1992). Os teores de sólidos solúveis (SS) foram determinados em uma amostra de suco extraído com auxílio de centrífuga doméstica a partir de todos os frutos sadios que compõem cada amostra experimental. Os teores de SS foram determinados com o auxílio de um refratômetro digital portátil PAL-1 (Atago, São Paulo, Brasil). A acidez titulável (AT) foi determinada em 1 mL de suco diluído em 50 mL de água destilada titulados com uma solução de NaOH 0,1N até pH 8,1. A titulação foi realizada com um titulador automático Titrino plus (Metrohm, São Paulo, Brasil). Os resultados de AT foram expressos em porcentagem de ácido málico presente no suco. A relação SS/AT foi obtida pela divisão dos resultados de SS pela AT. A concentração de ácido ascórbico (AA) foi determinada pela titulação de 0,5 mL de suco de acerola diluídos em 100 mL de ácido oxálico 0,5% com uma solução com 0,02% de 2,6 diclorofenol indofenol (DFI) até coloração rósea clara permanente (STROHECKER; HENNING, 1967). Os resultados foram expressos em g.100 g⁻¹.

5.2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância para cada tempo de avaliação. As comparações de médias foram feitas pelo teste de Tukey (P <0,05). Os dados de incidência de podridão e perda de massa fresca foram transformados pela equação arc seno √x/100. As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada tempo de avaliação e cultivar com auxílio dos pacotes *ExpDes.pt* (FERREIRA; NOGUEIRA; ALVES, 2013), a partir do software R versão 3.2.5 (R CORE TEAM, 2016).

5.3. Resultados e discussão

5.3.1 Composição da atmosfera interna

De acordo com os resultados obtidos, filmes de PEBD com maior espessura resultaram em menores níveis de O₂ e maiores de CO₂ dentro das embalagens durante o armazenamento refrigerado de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' (Figura 1). Para a maioria dos produtos, exceto aqueles que toleram altos níveis de CO2, um filme adequado deve ser mais permeável ao CO2 que ao O2, visto que, o O2 é fundamental para que a continue ocorrendo (LANGE, 2000: LEE respiração aeróbia al., 2008: MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015). No entanto, a velocidade de permeação de O₂ e CO₂ através dos filmes poliméricos, é fortemente influenciada pela difusão dos gases (LEWIS et al., 2003). As mudanças de atmosfera interna dentro das embalagens são influenciadas pela respiração do produto, difusão dos gases através do produto e pela permeabilidade dos filmes aos gases O₂ e CO₂ (BEAUDRY et al., 1992 GIUGGIOLI et al., 2014). Estudos têm demonstrado que a permeabilidade de um mesmo filme pode variar em função da temperatura (TADLAOUI et al., 1993), umidade relativa (NOBILE et al., 2002), composição da atmosfera (LEWIS et al., 2003) e a presença de aditivos e plastificantes na matriz do filme polimérico (FELISBERTI, 1985). Concentrações reduzidas de oxigênio podem diminuir a respiração dos frutos, bem como, inibir o crescimento de microorganismos aeróbicos prevenindo a deterioração, contribuindo para o bom armazenamento. No entanto, níveis de O₂ abaixo do limite de tolerância para um produto específico, ocasionarão a respiração anaeróbica com acúmulo de compostos tóxicos ao metabolismo, como o etanol, acetaldeído e outros compostos indesejáveis (NIELSEN; LEUFVÉN, 2008; LI et al., 2015). Por outro lado, o CO₂, um produto da respiração, também pode reduzir e/ou inibir o processo respiratório dos frutos. No entanto, efeitos negativos sobre o metabolismo podem ser ocasionados, com a produção de concentrações muito elevadas de CO2, o que levaria à redução da qualidade do fruto devido à respiração anaeróbica e desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (ALMENAR et al., 2008; LI et al., 2015). Os baixos níveis de oxigênio observados nas embalagens com filmes de 40 µm ocasionaram respiração anaeróbica em acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', resultando em mudanças indesejáveis nos frutos, como sintomas de fermentação, evidenciado por aspecto, coloração e odores indesejáveis. Nas embalagens de PEBD de 40 µm foram observados sintomas de fermentação dos frutos de 16% e 84% nas acerolas 'Flor Branca' e 52% e 100% nas acerolas 'Junko', aos 14 e 21 dias de armazenamento, a 12°C, respectivamente. A causa do início de condições anaeróbicas alcançadas nas embalagens de 40 μm sugere que a taxa de respiração das acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' ocorre em uma velocidade mais rápida que a taxa de permeação da embalagem ao O₂ e CO₂, resultando em mudanças indesejáveis nos frutos, incluindo o desenvolvimento de *off-flavors* (ARGENTA et al., 2002; GIUGGIOLI et al., 2014). Por este motivo, é importante o conhecimento da intensidade da respiração do produto, a permeabilidade do filme junto à temperatura e umidade relativa, pois são fatores que determinam o equilíbrio do CO₂ e O₂ dentro da embalagem (RIQUELME et al., 1994; MANTILLA et al., 2010).

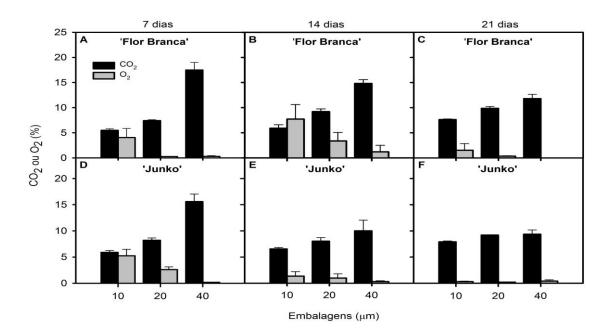


Figura 1. Concentrações de oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) em embalagens de filmes de polietileno de baixa densidade com acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' armazenadas a 12 \pm 0,5°C e UR: 90-95%. A) O_2 e CO_2 nas embalagens com acerolas 'Flor Branca' aos 7 dias, B) aos 14 dias e C) aos 21 dias de armazenamento a 12°C; D) O_2 e CO_2 nas embalagens com acerolas 'Junko' aos 7 dias, E) aos 14 dias e F) aos 21 dias de armazenamento a 12°C. Barras verticais indicam o desvio padrão das médias.

5.3.2. Taxa respiratória, incidência de podridão e qualidade físico-química

De acordo com os resultados das análises de variâncias e testes de médias obtidos, foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria das variáveis, exceto, a incidência de podridão e concentração de AA aos 14 dias e, AT aos 21 dias de armazenamento de acerolas 'Flor Branca' a 12°C. Aos 14 dias de armazenamento foram evidenciadas médias superiores da taxa respiratória de acerolas 'Flor Branca' nas embalagens com filmes PEBD de 10, 20 µm e controle (Tabela 1). A

maior resistência à compressão e ºh, característica de coloração verde de acerolas 'Flor Branca' foram observadas com o uso de filmes de PEBD, independente da espessura. A maior perda de massa fresca e luminosidade da epiderme de acerolas 'Flor Branca' foram evidenciadas no controle, ao passo que a intensidade de cor (croma) da epiderme, SS e AT foram superiores no filme PEBD de 10 µm e controle. No entanto, a maior relação SS/AT foi evidenciada nas acerolas 'Flor Branca' embaladas no filme PEBD de 40 µm. A incidência de podridão e concentração de AA de acerolas 'Flor Branca' não diferiu entre os tratamentos aos 14 dias de armazenamento a 12ºC. Resultados semelhantes foram constatados aos 21 dias de armazenamento de acerolas 'Flor Branca', para perda de massa fresca, luminosidade da epiderme, ^oh e taxa respiratória. A maior incidência de podridão de acerolas 'Flor Branca' foi observada nas embalagens com filmes de 40 µm. A maior resistência à compressão, relação SS/AT e concentração de AA de acerolas 'Flor Branca' foram observadas nos filmes PEBD de 20 e 40 µm. A maior intensidade de cor (croma) da epiderme foi evidenciada no controle. O maior teor de SS da polpa de acerolas 'Flor Branca' foi observado nos filmes PEBD de 20 µm e controle, ao passo que a AT não diferiu entre os tratamentos aos 21 dias de armazenamento a 12ºC (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa respiratória (TR), incidência de podridão (IP), perda de massa (PM), resistência à compressão (RC), cor da epiderme (L, C e h), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT e concentração de ácido ascórbico (AA) em acerolas 'Flor Branca' durante o armazenamento a 12 ± 0,5°C e UR: 90-95% sob atmosfera modificada.

	'Flor Branca' aos 14 dias										
Filme (µm)	TR (mol CO_2 $kg^{-1}h^{-1}$)	IP (%)	PM (%)	RC (N)	L	С	h	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 ⁻¹)
Controle*	81,6 a	3,14 a	6,80 a	19,9 b	55,7 a	42,9 a	89,0 b	7,9 a	2,18 a	3,61 c	3,51 a
10	77,5 a	2,11 a	0,30 c	38,2 a	51,8 ab	38,7 a	116,7 a	8,0 a	2,10 a	3,82 c	3,52 a
20	69,0 a	3,92 a	0,32 c	48,0 a	50,1 b	35,9 bc	118,6 a	7,8 ab	1,85 b	4,23 b	3,37 a
40	42,8 b	3,89 a	0,44 b	39,5 a	48,7 b	34,1 c	119,7 a	7,5 b	1,67 c	4,52 a	3,28 a
CV (%)	14,3	37,4	3,40	14,6	4,12	4,13	2,06	1,91	3,20	2,94	6,17
					'Flor Bra	anca' aos :	21 dias				
Filme (µm)	TR (mol CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	IP (%)	PM (%)	RC (N)	L	С	h	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 ⁻¹)
Controle*	88,2 a	23,1 c	10,1 a	17,2 c	58,8 a	47,4 a	84,4 b	7,3 a	2,02 a	3,60 ab	2,78 b
10	77,8 a	26,0 c	0,41 b	33,1 b	48,6 b	33,6 b	119,0 a	6,6 b	2,03 a	3,26 b	3,28 ab
20	81,8 a	52,2 b	0,48 b	41,7 a	49,3 b	34,3 b	119,0 a	7,2 a	1,93 a	3,73 a	3,70 a
40	62,0 b	84,0 a	0,55 b	41,6 a	49,1 b	34,3 b	119,4 a	7,0 ab	1,84 a	3,84 a	3,77 a
CV (%)	7,89	12,6	3,75	11,6	3,03	5,77	1,48	3,82	4,9	5,48	8,15

^{*}Frutos armazenados em cumbucas perfuradas com dimensões de 5x10x17cm.

Para a cultivar Junko foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria das variáveis, exceto, a taxa respiratória e SS aos 14 dias de

armazenamento a 12°C. Aos 14 dias de armazenamento, a maior incidência de podridão de acerolas 'Junko' foi observada no controle (Tabela 2). A maior resistência à compressão e AT de acerolas 'Junko' foi observada na embalagem com filme PEBD de 10 μm. A maior intensidade de cor (croma) da epiderme, ºh e concentração de AA foram evidenciadas com o uso de filmes de PEBD, independente da espessura, ao passo que a maior luminosidade da epiderme foi observada no filme PEBD de 10 µm. A maior relação SS/AT foi evidenciada nas acerolas 'Junko' embaladas no filme PEBD de 40 µm, no entanto, a taxa respiratória e SS não diferiram entre os tratamentos aos 14 dias de armazenamento a 12°C. Resultados semelhantes foram constatados aos 21 dias de armazenamento de acerolas 'Junko', para perda de massa fresca e concentração de AA. A maior taxa respiratória e relação SS/AT foram observadas no controle, ao passo que a maior incidência de podridão e teor de SS de acerolas 'Junko' foi evidenciada na embalagem com filme de PEBD de 40 µm. A resistência à compressão, intensidade de cor (croma) da epiderme e ºh foram observadas nos filmes PEBD de 10 e 20 µm. A maior luminosidade da epiderme e AT de acerolas 'Junko' foram evidenciadas nos filmes PEBD, independente da espessura, aos 21 dias de armazenamento a 12ºC (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa respiratória (TR), incidência de podridão (IP), perda de massa (PM), resistência à compressão (RC), cor da epiderme (L, C e h), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, concentração de ácido ascórbico (AA) e taxa respiratória (TR) em acerolas 'Junko' durante o armazenamento a 12± 0,5°C e UR: 90-95% sob atmosfera modificada.

	'Junko' aos 14 dias										
Filme (µm)	TR (mol CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	IP (%)	PM (%)	RC (N)	L	С	h	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 ⁻¹)
Controle*	66,7 a	11,5 a	7,03 a	23,4 с	36,6 c	28,0 b	37,4 b	7,1 a	2,05 ab	3,50 c	3,55 b
10	57,9 a	4,64 b	0,68 b	54,0 a	52,1 ab	36,0 a	117,4 a	7,2 a	2,14 a	3,38 c	3,92 a
20	58,8 a	8,18 ab	0,57 b	44,4 b	53,3 a	37,5 a	116,8 a	7,3 a	1,95 bc	3,75 b	3,98 a
40	51,7 a	0,00 c	0,56 b	41,4 b	51,4 b	35,1 a	118,8 a	7,4 a	1,91 c	3,90 a	3,97 a
CV (%)	14,9	36,8	6,40	5,78	1,62	3,88	2,78	2,9	2,79	1,63	3,28
					ʻJunk	o' aos 21	dias				
Filme (µm)	TR (mol CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	IP (%)	PM (%)	RC (N)	L	С	h	SS (%)	AT (%)	SS/AT	AA (g.100 ⁻¹)
Controle*	137,0 a	66,7 b	11,5 a	10,9 b	36,0 b	33,0 b	29,9 с	7,0 b	1,38 b	5,10 a	3,15 b
10	108,7 b	66,6 b	1,00 b	40,0 a	52,8 a	37,2 a	117,3 a	7,3 ab	2,18 a	3,37 b	3,55 a
20	100,0 b	65,1 b	0,84 b	36,5 a	53,0 a	37,5 a	117,6 a	7,3 ab	2,09 a	3,52 b	3,77 a
40	38,6 c	100,0 a	0,83 b	14,4 b	51,1 a	33,8 b	104,6 b	7,8 a	2,07 a	3,78 b	3,64 a
CV (%)	5,81	15,2	17,4	7,39	2,69	3,93	1,56	3,4	4,74	7,78	3,08

^{*}Frutos armazenados em cumbucas perfuradas com dimensões de 5x10x17cm.

A partir dos resultados expostos a tecnologia de AM propiciou o retardo do amadurecimento de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', com alterações dos atributos de

qualidade físico-químicas significativamente reduzidas possibilitando o aumento da vida pós-colheita dos frutos. No entanto, a mudança de coloração do verde para o vermelho das acerolas de ambas cultivares, após a retirada dos frutos das condições de AM, foi evidenciado apenas para frutos armazenados nas embalagens com filme PEBD de 10 um. O metabolismo respiratório de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' foi altamente reduzido na embalagem PEBD de 40 µm. Entretanto, sintomas de fermentação e a incidência de podridão nos frutos de ambas cultivares armazenadas nas embalagens com filme PEBD de 40 µm, decorrente de possíveis condições anaeróbicas, foi o fator limitante neste tratamento. O oxigênio é vital para o metabolismo do fruto, e níveis reduzidos, bem como concentrações mais elevadas de CO₂, podem diminuir o processo respiratório aeróbico (LI et al., 2015). Estudos constataram resultados semelhantes, onde níveis de O2 reduzidos e CO₂ elevados em embalagens de AM propiciaram redução das taxas respiratórias de pêssego e manga, retardando o processo de amadurecimento (AN; ZHANG; ZANG, 2007; SRINIVASA et al., 2004; BOONRUANG et al., 2011). A taxa de respiração de um produto fresco pode ser estimulada, reduzida, ou até mesmo não afetada por exposição a baixos níveis de O₂ e é significativamente dependente do tipo de produto, genótipo, do estádio de maturação, das concentrações de O2, CO2 e C2H4, tempo de exposição aos níveis desses gases e temperatura de armazenamento (KADER; BEN-YEHOSHUA, 2000; MOHEBBI et al., 2015).

Diversos estudos demonstram que a composição ótima para AM suprime a decomposição por microrganismos patogênicos (MATITYAHU et al., 2016). No entanto, condições desfavoráveis como a anaerobiose, podem induzir a desordens fisiológicas, como a fermentação, tornando o produto mais suscetível aos patógenos. O aumento da incidência de podridão para acerolas submetidas à atmosfera modifica possivelmente foi devido à formação de uma atmosfera saturada de CO₂ e deficiente em O₂, favorecendo a proliferação de agentes patogênicos tolerantes a estas atmosferas, como observado em pitangas (SANTOS et al., 2006), bem como, o aumento da umidade dentro das embalagens que pode tornar-se um fator determinante no desenvolvimento de microrganismos. Neste sentido, a elevada incidência de podridão das acerolas de ambas cultivares tornou-se um fator limitante, visto que, o uso de AM isoladamente, não permitiu contornar o problema, sendo necessários novos estudos, adicionado ao uso de AM, para o controle e redução da incidência de podridão. Segundo Li et al. (2015), o tipo de filme, níveis adequados de gases e técnicas no controle de podridões, podem inibir o crescimento de microrganismos aeróbicos prevenindo a deterioração (LI et al., 2015).

A diminuição da taxa de respiração de um fruto reduz a utilização de diversas reservas necessárias para a manutenção dos processos vitais (MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015). Em consequência, níveis de CO₂ mais elevados influenciam na redução da oxidação, retarda a síntese de enzimas e pigmentos, retarda a perda de clorofila, turgidez, firmeza e acidez (MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015; CÔME; CORBINEAU, 1999), como observados em ambas as cultivares armazenadas em embalagens com filmes PEBD com níveis mais elevados de CO₂.

A redução significativa da perda de massa fresca de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' submetidas a AM está relacionada com a baixa perda de umidade, devido à barreira física representada pelos filmes de polietileno à perda de água por transpiração, e consequente redução da taxa de respiração (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PALIYATH et al., 2008; RAJU; CHAUHAN; BAWA, 2011; SAPUTRA; PRATAMA, 2013). A atmosfera modificada pode conservar a textura de vários genótipos de frutos (BOONRUANG et al., 2012; KHAN et al., 2016), como observado nas acerolas 'Flor Branca'. No entanto, nas acerolas 'Junko' foi observada redução da resistência à compressão nos filmes PEBD de maior espessura. Estudos mostram que níveis muito elevados de CO₂ no interior das embalagens podem ocasionar injúrias nos tecidos, manifestando-se como o amadurecimento irregular, aceleração da deterioração por microrganismos e agravamento de desordens fisiológicas e, consequentemente, ocasionam redução da resistência dos frutos (OLIVEIRA et al., 2014). Tais resultados evidenciam que a sensibilidade ao CO₂ é dependente do genótipo.

O uso da AM nas acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' proporcionou maior retenção de cor verde, o que pode ser resultado da inibição da atividade de enzimas clorofilases e peroxidades (KAYS, 1997; SANTOS; SILVA ALVES, 2006). A aparência das acerolas nas embalagens com filme PEBD foi caracterizada predominantemente pela cor verde nos períodos de armazenamento. Entretanto, acerolas de ambas cultivares com sintomas de fermentação, exibiram epiderme de coloração verde-marrom, com menor luminosidade e intensidade de cor. O valor de luminosidade é um indicador de escurecimento ao longo do armazenamento, que pode ser causado, tanto por reações oxidativas quanto pelo aumento da concentração de pigmentos (KADER, 2010; MOURA et al., 2013). As altas concentrações de CO₂ muitas vezes provocam danos na membrana celular nos tecidos externos. Uma vez que a integridade da membrana é perdida, os compostos fenólicos normalmente presentes nos compartimentos celulares estão expostos a O₂ e oxidados por enzimas catalisadoras, como a polifenoloxidase, resultando na polimerização dos

compostos e formação de pigmentos marrons (TANO et al., 2007; PASCALL, 2011; MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015). Outros estudos evidenciaram efeito da AM sobre os parâmetros de cor, como a retenção de cor verde, em pitangas (SANTOS et al., 2006), umbu (MOURA et al., 2013) e morango (GIUGGIOLI et al., 2015).

O teor de SS, AT e relação SS/AT de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' variaram entre os tratamentos em cada período de armazenamento. Acerolas com maior SS e AT predominaram no tratamento controle e nos filmes PEBD de 10 µm, enquanto que, a relação SS/AT foi predominantemente superior para acerolas armazenadas nas embalagens PEBD de maior espessura. Oscilações na AT, segundo (CHITARRA; CHITARRA, 2005), podem estar relacionadas aos processos bioquímicos do metabolismo respiratório, que tanto sintetiza quanto consome ácido como esqueleto de carbono. Umbus e umbu-laranja mantidos sob AM apresentaram teores de SS maiores (LOPES, 2007; MOURA et al., 2013). Em morangos o uso da AM não apresentou efeito positivo sobre os SS, no entanto manteve maior acidez da polpa, indicando que o tratamento com atmosfera modificada retardou o processo de senescência e a perda de qualidade dos frutos (OZKAYA et al., 2009). Segundo os autores as menores taxas de respiração constatadas em morangos mantidos sob AM, poderiam ter ajudado a conservar os carboidratos nos tecidos do fruto, proporcionando boa conservação da qualidade (OZKAYA et al., 2009). Em cerejas, o uso da AM influenciou na redução de SS/AT, enquanto que aumentou a AT (KHORSHIDI et al., 2011). Frutos com reduzida concentração de amido utilizam outros carboidratos para o fornecimento da energia para a respiração como os açúcares e ácidos (KHORSHIDI et al., 2011), influenciando a redução destes nos frutos. Os valores predominantemente mais baixos da AT observados nas acerolas mantidas sob AM podem ser explicados pela diminuição nos níveis de O₂ e respectivo aumento do CO₂, resultando na menor atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo respiratório (MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015). Com a evolução da concentração de CO2 e redução de O2 os sistemas enzimáticos de degradação da glicose no processo respiratório podem ser afetados, provocando alterações no ciclo de Krebs. Dessa forma, devido à redução da taxa respiratória, em decorrência da AM, pode ter ocorrido uma redução da atividade da succinato enzima diretamente afetada pela redução do nível desidrogenase, (MANOLOPOULOU; VARZAKAS, 2015), resultando em menores níveis de AT.

O uso de AM notadamente manteve as concentrações de AA mais elevadas nas acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' comparados ao tratamento controle, evidenciado pelo

retardo no amadurecimento dos frutos, promovendo concentrações de AA elevadas por maior tempo. Estudos com o armazenamento de acerolas sob AM e refrigeradas em temperaturas de 8 e 10 °C prolongou o tempo de vida útil pós-colheita, porém, as tecnologias empregadas não foram eficientes na redução das perdas de AA (ALVES; CHITARRA; CHITARRA, 1995; MACIEL et al., 2004; ARAÚJO et al., 2009). Durante o armazenamento de frutos e hortaliças é importante a maximização da retenção de diversos compostos, comumente reduzidos com a maturação e/ou armazenamento inadequado. Por ser um composto mais termolábil, o AA é um importante indicador da qualidade nutricional de frutos, pois sua presença indica que, provavelmente, as demais características nutricionais estão sendo preservadas (ALVES et al., 2010).

5.5. Conclusões

O uso do PEBD com 10 µm retardou o amadurecimento de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', resultando em maior vida pós-colheita. Filmes de PEBD com 20 e 40 µm resultaram na podridão e fermentação dos frutos durante o armazenamento refrigerado. O uso de AM proveniente das embalagens PEBD de 10 µm representou a condição mais eficiente na conservação de acerolas de ambas cultivares, possibilitando a manutenção da resistência à compressão, coloração verde, teor de SS, AT, concentração de AA e redução da perda de massa fresca. Acerolas de ambas as cultivares apresentaram mudança de coloração do verde para o vermelho após a retirada dos frutos da AM aos 21 dias de armazenamento nos filmes PEBD de 10 µm. O uso de AM não permitiu contornar a podridão, tornando-se necessários novos estudos, adicionado ao uso de AM, para o controle e redução de microrganismos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); ao produtor pelo fornecimento dos frutos; à Embrapa Semiárido e equipe do Laboratório de Fisiologia Pós-colheita; e à Universidade Federal do Vale do São Francisco, pelo suporte para execução dos experimentos.

Referências

ALMENAR, E. et al. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. **Food Chemistry**, v.110, p.120–127, 2008.

- ALVES R. E.; CHITARRA A. B.; CHITARRA M. I. F. Postharvest physiology of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits: Maturation changes, respiratory activity and refrigerated storage at ambient and modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, v. 370, p. 223 229, 1995.
- ALVES et al., Cinética da degradação de vitamina C em mangas 'palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.714-721, 2010.
- AN, J.; ZHANG, M.; ZANG, Z. Effect of packaging film on the quality of 'Chaoyang' honey peach fruit in modified atmosphere packages. **Packaging Technology and Science**. v.20, n.1, p.71–76, 2007.
- ANCOS, B. et al. Influence of orange cultivar and mandarin postharvest storage on polyphenols, ascorbic acid and antioxidant activity during gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, 2016.
- ASSIS, S.A. de et al. Acerola: importance, culture conditions, production and biochemical aspects. **Fruits**, v. 63, p. 93-101, 2008.
- ARAÚJO, P. G. L. de et al. Qualidade físico-química e química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.4, p.867-880, 2009.
- ARGENTA, L.C.; FAN, X.T.; MATTHEIS, J. P. Impact of watercore on gas permeance and incidence of internal disorders in 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.113–122, 2002.
- AZEREDO, H. M. C. et al. Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 505-510, 2012.
- BANDA, K. et al. Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 97–105, 2015.
- BEAUDRY, R.M. et al. Modified atmosphere packaging of blueberry fruit effect of temperature on package O2 and CO2. **Journal of the American Society Horticultural Science**, v.117, p.436–441,1992.
- BOONRUANG, K. et al. Comparison of various packaging films for mango export. **Packaging Technology and Science**, v.25, p.107-118, 2011.
- CASTELLANOS, D. A.; HERRERA, A. O. Mathematical models for the representation of some physiological and quality changes during fruit storage. **Journal of Postharvest Technology**, v. 3, p. 18–35, 2015.
- CASTELLANOS, D. A. et al. Modelling the evolution of O2 and CO2 concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 168, p. 84–95, 2016.

- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed, Lavras: UFLA, 2005. 783p.
- CÔME, D.; CORBINEAU, F. Bases de la physiologie des légumes après récolte. In: **Technologie des Légumes.** (ed) TIRILLY, Y.; BOURGEOIS, C. M. Tec & Doc, Londres, NY, 1999, p.209–224.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coleção Plantar: Acerola**. Brasília, DF, 2012. 150p.
- FELISBERTI, M. I. **Estudo da permeabilidade de gases em compósitos de polietileno.** 1985. 78f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1985.
- FERREIRA, E. B.; NOGUEIRA, P. P.; ALVES, C. D. ExpDes.pt: **Experimental Designs package**, 2013. Disponível em: http://cran.r-project.org/package=ExpDes.pt. Acesso em: 16 maio. 2016.
- GIUGGIOLI, N. R. et al. Influence of modified atmosphere packaging storage on postharvest quality and aroma compounds of strawberry fruits in a short distribution chain. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, p.3154-3164, 2014.
- GORRIS, L. G. M.; TAUSCHER, B. Quality and safety aspects of novel minimal processing technologies. In: **Processing Foods. Quality Optimization and Process Assessment** (ed) OLIVEIRA, F. A. R.; OLIVEIRA, J. C. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 325–339.
- KADER, A. A.; BEN-YEHOSHUA, S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p.1-13, 2000.
- KADER, A. A. Future of Modified Atmosphere Research. **Acta Horticulturae**, v. 857, p. 212-217, 2010.
- KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Athens: AVI, 1997. 532p.
- KHAN, M. R. et al. Effects of film permeability on reducing pericarp browning, preventing postharvest decay and extending shelf life of modified atmosphere-retail packaged longan fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p.1925–1931, 2016.
- KHORSHIDI, S. et al. Effect of modified atmosphere packaging on chemical composition, antioxidant activity, anthocyanin, and total phenolic content of cherry fruits. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v.52, n.5, p.471-481, 2011.
- KWON, M. J. et al. Applicability of simplified simulation models for perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh produce. **Mathematical Problems in Engineering**, 2013.

- LANGE, D.L. New film technologies for horticultural commodities. **HortTechnology**, v.10, n.3, p.487–490, 2000.
- LEE, K. E. Effectiveness of modified atmosphere packaging in preserving a prepared ready-to-eat food. **Packaging Technology and Science**, v.21, n.7, p.417–423, 2008.
- LEWIS, E. L. V. et al. The barrier properties of polyethylene terephthalate to mixtures of oxygen, carbon dioxide and nitrogen. **Polymer**, v.44, p.1631-1640, 2003.
- LI, J. et al. Effect of modified atmosphere packaging (map) on the quality of sea buckthorn berry fruits during postharvest storage. **Journal of Food Quality**, v. 38, p.13-20, 2015.
- LOPES, M. F. **Fisiologia da Maturação e Conservação Pós-Colheita do Acesso Umbu- Laranja (Spondias tuberosa Arruda Câmara).** 2007. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Hortscience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.
- MACIEL, M. I. S. et al. Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.168-170, 2004.
- MACIEL, M. I. S. et al. Características sensoriais e físico-químicas de geléias mistas de manga e acerola. Boletin CEPPA, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 247-256, 2009.
- MAHAJAN, P. V. et al. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 1, p. 84–92, 2007.
- MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. **Food Engineering Reviews**, *v*. 1, n. 2, p. 133–158, 2009.
- MANGARAJ, S. et al. Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 2925–2946, 2014.
- MANGARAJ, S.; K.GOSWAMI, T.; MAHAJAN, P. V. Development and validation of a comprehensive model for map of fruits based on enzyme kinetics theory and arrhenius relation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 4286–4295, 2015.
- MANOLOPOULOU; VARZAKAS. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. In: **Handbook of Food Processing: Food Preservation** (ed) VARZAKAS, T.; TZIA, C. Dublin: CRC Press, 2015. 736p.
- MANTILLA, S. P. S. et al. Atmosfera modificada na conservação de alimentos. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.8, p.437-448, 2010.

MATITYAHU, I. et al. Differential effects of regular and controlled atmosphere storage on the quality of three cultivars of pomegranate (*Punica granatum* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v.115, p.132–141, 2016.

MOHEBBI, S. et al. Influence of modified atmosphere packaging on storability and postharvest quality of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) fruits. **Notulae Scientia Biologicae**, v.7, n.1, p.116-122, 2015.

MOURA, F. T. de et al. Frutos do umbuzeiro armazenados sob atmosfera modificada e ambiente em diferentes estádios de maturação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 764-772, 2013.

NIELSEN, T.; LEUFVÉN, A. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. **Food Chemistry**, v.107, p.1053–1063, 2008.

OLIVEIRA, J. de et al. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. **Ciência Rural**, v.44, p.1126-1133, 2014.

OZKAYA, O. et al. Evaluation of quality parameters of strawberry fruits in modified atmosphere packaging during storage. **African Journal of Biotechnology**, v.8, p.789-793, 2009.

PALIYATH, G. et al. **Postharvest biology and technology of fruit, vegetables, and flowers**. Ames: Wiley-Blackwell, 2008. 497p.

PASCALL, A. M. Packaging for fresh vegetables and vegetable products. In: SINHA, N. K. (ed.), **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, p.405–422, 2011.

RAJU, P. S.; CHAUHAN, O. P.; BAWA, A. S. **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing: Postharvest Handling Systems and Storage of Vegetables**. lowa: Blackwell Publishing Ltd, 2011. 772p.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em: 16 jun. 2016.

RITZINGER, R.; RITZINGER, C.H.S.P. Acerola. In: RODRIGUES, M. G. V; DIAS, M. S. C. **Cultivo tropical de fruteiras**. Belo Horizonte: Informe agropecuário, v. 32, n. 264, 2011, p.17-25.

RIQUELME, F. et al. Packaging of fruits and vegetables: recent results. In: MATHLOUTHI, M. **Food Packaging and Preservation**. 1994. Disponível em: http://books.google.com.br. Acesso em: 30 mar. 2010.

SANDHYA, K. V. K. Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. **Food Science and Technology**, v.43, p.381–392, 2010.

SANTOS, A. F. dos; SILVA, S. M. de; ALVES, R. E. Armazenamento de pitanga sob atmosfera modificada e refrigeração: I-transformações químicas em pós-colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.36-41, 2006.

SANTOS, A. F. dos. et al. Armazenamento de pitangas sob atmosfera modificada e refrigeração: II – Qualidade e conservação pós-colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.42-45, 2006.

SAPUTRA, D.; PRATAMA, F. Quality changes of exotic tropical fruits during storage in semi-passive modified atmosphere. **Acta Horticulturae**, n. 1011, p. 243-249, 2013.

SRINIVASA, P. C et al. Quality of mango fruits during storage: effect of synthetic and ecofriendly films. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, n.8, p.818–824, 2004.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Análises de vitaminas: métodos comprovados**, Madrid: Paz Montolvo, 1967. 428p.

TADLAQUI, N. et al. A device for determining the permeability of polymer films used for food products packaging. **Polymer testing**, v.12, p.195-206, 1993.

TANO, K. et al. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, *v*.46, p.212–221, 2007.

TOIVONEN, P. M. A.; BRANDENBURT, J. S.; LUO, Y. Modified atmosphere packaging for fresh-cut produce. In: YAHIA, E. M. (Ed.) **Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities**. Boca Raton: CRC Press, 2009. p. 456-488.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude de a acerola apresentar alta sensibilidade ao manuseio póscolheita, rápida maturação e senescência, o armazenamento e a conservação póscolheita são dificultados. Por este motivo, o conhecimento sobre a fisiologia do amadurecimento e as mudanças físico-químicas que ocorrem neste processo, bem como, a determinação do ponto de colheita, juntamente à utilização de tecnologias que visem proporcionar maior conservação da qualidade e prolongamento da vida útil é extremamente importante. Especificamente para os genótipos de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko', a avaliação do potencial de armazenamento destaca a dependência do estádio de maturação na colheita e da temperatura de armazenamento para a obtenção das melhores respostas. Além da importância científica, este trabalho possui relevância, visto que, são demonstrados registros sobre a injúria por frio, proveniente de baixas temperaturas de armazenamento, 8 e 10°C, predominantemente nas acerolas colhidas em estádio de maturação menos avançado. As respostas que o etileno exerce sobre o amadurecimento e metabolismo dos genótipos de acerolas colhidas em dois estádios de maturação, de acordo a densidade e armazenadas a 12 ± 5°C. A determinação de embalagens de atmosfera modificada revelou-se uma tecnologia pós-colheita eficiente no prolongamento da vida útil dos genótipos de acerolas para o consumo in natura. O etileno pode não apresentar efeito sob o processo de amadurecimento pós-colheita de acerolas 'Flor Branca' e 'Junko' destinadas ao consumo in natura, as quais devem ser colhidas no estádio de maturação com coloração verde e densidade <1 g cm⁻³, armazenadas a 12°C e embaladas em filmes de PEBD de 10 µm para manter a qualidade dos frutos após a colheita. A incidência de podridões demonstrou-se fator limitante no armazenamento pós-colheita de ambos os genótipos, sendo necessários novos estudos, somados aos resultados da presente dissertação, para o controle e redução dos microrganismos patogênicos.