



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**IARA JEANICE SOUZA FERREIRA**

**INFLUÊNCIA DE CÂMARA DE RESFRIAMENTO RÁPIDO E DE  
CÂMARA FRIA NA QUALIDADE DE MANGA 'ROSA'**

**JUAZEIRO – BA**

**2020**

**IARA JEANICE SOUZA FERREIRA**

**INFLUÊNCIA DE CÂMARA DE RESFRIAMENTO RÁPIDO E DE  
CÂMARA FRIA NA QUALIDADE DE MANGA 'ROSA'**

Trabalho apresentado ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. DSc. Silvia Helena Nogueira Turco.

Coorientador (a): Prof. DSc. Daniel dos Santos Costa.

**JUAZEIRO – BA**

**2020**

F383i Ferreira, Iara Jeanice Souza.  
Influência de câmara de resfriamento rápido e de câmara fria na  
qualidade de manga 'Rosa'. / Iara Jeanice Souza Ferreira. -  
Juazeiro, 2020  
ix, 77 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade  
Federal do Vale do São Francisco–UNIVASF, Campus Juazeiro-  
BA, 2020

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Sílvia Helena Nogueira Turco.

1. Manga – Pós-colheita. 2. Câmara de resfriamento. I. Título. II.  
Turco, Sílvia Helena N. III. Universidade Federal do Vale do São  
Francisco.

CDD 634.44

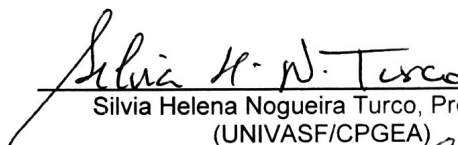
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

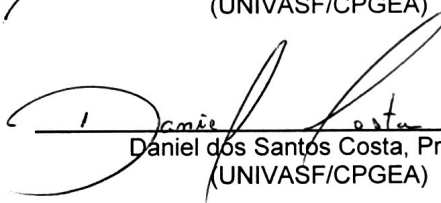
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Iara Jeanice Souza Ferreira

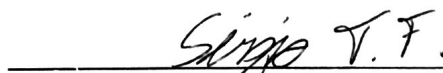
**INFLUÊNCIA DA CÂMARA DE RESFRIAMENTO RÁPIDO E DE  
CÂMARA FRIA NA QUALIDADE DE MANGA “ROSA”**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

  
\_\_\_\_\_  
Silvia Helena Nogueira Turco, Profa. Dra.  
(UNIVASF/CPGEA)

  
\_\_\_\_\_  
Daniel dos Santos Costa, Prof. Dr.  
(UNIVASF/CPGEA)

  
\_\_\_\_\_  
Dian Lourençoni, Prof. Dr.  
(UNIVASF/CPGEA)

  
\_\_\_\_\_  
Sérgio Tonetto de Freitas, Dr.  
(Embrapa Semiárido)

Juazeiro-BA, 28 de Fevereiro de 2020.

Dedico esta dissertação ao meu pai,  
Vicente Ferreira (*In memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

A minha querida mãe Jeane, por toda força, apoio e incentivo ao longo de minha jornada.

Ao meu irmão, Pedro Vicente por todo apoio.

Aos meus queridos avós José e Maria Luci, por toda a base proporcionada.

A minha orientadora, Silvia Turco, pela grande colaboração, paciência, e credibilidade.

Ao meu co-orientador Daniel Costa pela colaboração, prestatividade, amizade e incentivo.

Ao professor Sergio Tonetto por toda prestatividade e colaboração.

Ao grupo do Laboratório de Energia na Agricultura (LENA), em especial a Rodrigo, pela enorme ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da UNIVASF, em especial à Carol e Hideo pela prestatividade.

À empresa que concedeu a estrutura para realização do trabalho.

À FAPESB pela concessão da bolsa de Mestrado.

E a todos que de alguma forma contribuíram com mais esta etapa.

FERREIRA, I. J. S. **<sup>1</sup>Influência de câmara de resfriamento rápido e de câmara fria na qualidade de manga ‘Rosa’**. 2020. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

## RESUMO

O estudo objetivou verificar a influência de uma câmara de resfriamento rápido e de uma câmara fria na qualidade de manga ‘Rosa’. Seis paletes com 48 frutas cada foram submetidos a diferentes tratamentos de refrigeração pós-colheita. Inicialmente, dois paletes foram acondicionados em uma câmara de resfriamento rápido, sendo um submetido a um programa de 120 minutos e outro a um programa de 240 minutos de exposição. Quatro sensores térmicos conectados a dois *datas loggers* foram inseridos individualmente na polpa de outras quatro mangas distintas, localizadas em diferentes posições horizontais de três camadas dos paletes. Após os programas de resfriamento rápido, os dois paletes foram conduzidos a uma câmara fria e submetidos a programas de 7 e 14 dias de armazenamento e mais três dias prateleira a 20 °C. Todas as 48 frutas foram analisadas quanto a parâmetros físico-químicos de qualidade. Estatística descritiva e modelagem matemática foram utilizadas para processamento dos dados. Não ocorreram diferenças significativas entre as temperaturas finais de polpa para mangas submetidas a 120 minutos ou a 240 minutos de resfriamento rápido. Não houve diferenças significativas entre os parâmetros físico-químicos após cada tratamento pós-colheita. Somente a perda de peso variou de um valor inicial 0 para valores próximos de 4 e 5%, entre os tratamentos, após três dias de prateleira. Tendo em vista que proporcionando 120 minutos de resfriamento rápido seja possível obter os mesmos resultados de temperaturas e de qualidade, que quando proporcionando 240 minutos, a adoção de um programa de 120 minutos pode contribuir com maior economia e rapidez para o sistema comercial de resfriamento.

**Palavras-chave:** Ambiência. Frutas. Pós-colheita.

<sup>1</sup>O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

FERREIRA, I. J. S. <sup>1</sup>**Influence of fast cooling chamber and cold chamber in quality of mango 'Rosa'**. 2020. 77p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of the São Francisco Valley. Juazeiro-BA.

### **ABSTRACT**

The paper aimed to verify the influence of a fast-cooling chamber and a cold chamber on the quality of mango 'Rosa'. Six pallets of 48 fruits each were submitted to different post-harvest cooling treatments. Initially, two pallets were placed in a fast cooling chamber, one under a 120-minute cycle and the other under a 240-minute exposure cycle. Four thermal sensors connected to two data loggers were individually inserted into the four mangoes pulps, located in different horizontal positions of three pallet layers. After the rapid cooling programs, the two pallets were taken to a cold storage chamber and placed in 7- and 14-day storage and another three days shelf at 20°C. All 48 fruits were analyzed for physic-chemical quality parameters. Descriptive statistics and mathematical modeling were used for data processing. There were no significant differences between the final pulp temperatures for mangoes submitted to 120 minutes or to 240 minutes of rapid cooling. There were no significant differences between physic-chemical parameters after each post-harvest treatment. Only weight loss between treatments ranged from an initial value of 0 to values close to 4 and 5%, after three days on the shelf. Considering that by providing 120 minutes of rapid cooling it is possible to obtain the same temperature and quality benefits as when providing 240 minutes, the adoption of a 120-minute program can contribute to greater economy and quickness for the commercial cooling system.

**Keywords:** Ambience. Fruits. Post-harvest.

<sup>1</sup>This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 MANGA .....	10
2.2 PERDAS PÓS-COLHEITA DE FRUTAS.....	15
2.3 ARMAZENAMENTOS PÓS-COLHEITA.....	16
<b>3. ARTIGO I: Sistema comercial de refrigeração de mangas ‘Rosa’: efeitos de programas de resfriamento rápido no arrefecimento da fruta.....</b>	<b>25</b>
1. Introdução .....	25
2. Materiais e métodos .....	27
2.1 Caracterização do sistema de refrigeração .....	27
2.2 Armazenamento na câmara de resfriamento rápido .....	27
2.3 Mensurações térmicas .....	28
2.4 Modelagem teórica e experimental do resfriamento rápido.....	29
3. Resultados e discussão.....	31
3.1 Comportamento da temperatura durante resfriamento rápido.....	31
3.2 Modelagem teórica e experimental do resfriamento rápido.....	36
4. Conclusões.....	47
Referências .....	48
<b>4. ARTIGO II: Influência de programas comerciais de refrigeração de manga ‘Rosa’ sobre a qualidade da fruta.....</b>	<b>51</b>
1. Introdução .....	51
2. Materiais e métodos .....	53
2.1 Parâmetros físico-químicos de qualidade.....	54
3. Resultados e discussão.....	56
4. Conclusões.....	62
Referências .....	62
<b>5. CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A ausência na disponibilidade de nutrientes e água, que antes eram fornecidos pela planta, faz com que as frutas utilizem as próprias reservas químicas e biológicas para o contínuo processo de respiração e transpiração na pós-colheita. Nesse contexto, altas temperaturas são as principais responsáveis pela aceleração desses processos metabólicos que resultam em perda de qualidade e conseqüente redução do tempo de prateleira dos produtos agrícolas (HONÓRIO; MORETTI, 2002).

Portanto, após atividades de colheita e beneficiamento, o armazenamento refrigerado vem sendo crucial para reduzir a carga térmica da fruta, conhecida também por “calor de campo”, e retardar o processo de deterioração, diminuindo a produção de substâncias como o etileno, e também a atividade de microrganismos (CENCI, 2006; TERUEL, 2008).

Atualmente, determinar os programas mais adequados de refrigeração para obtenção de um resfriamento rápido completo, ou seja, estimar sob quais regimes de arrefecimento se é possível proporcionar uma temperatura desejada antes de transferir o produto à estocagem ou ao transporte, e depois realizar correto controle de temperaturas e umidades relativas dentro de câmaras frias em condições comerciais, visando reduzir danos e perdas de produtos ainda é um grande desafio, que aborda a quantificação do processo, em termos de tempo e temperatura (SUCUPIRA, 2014).

Especialmente em sistemas comerciais de resfriamento, há uma necessidade maior de prover dados práticos capazes de demonstrar como o ambiente refrigerado pode afetar parâmetros físico-químicos altamente significativos ao consumo das frutas, e paralelamente impactar no sucesso produtivo.

Por isso, tendo em vista que o cultivo de produtos agrícolas tem grande destaque na região do Vale do São Francisco e que o estudo sobre o comportamento físico-químico de frutas na fase pós-colheita, seja de suma importância econômica, este trabalho teve por objetivo verificar a influência de uma câmara de resfriamento rápido e de uma câmara fria, na qualidade de manga da variedade Rosa, a partir do impacto de distintos programas de

refrigeração sobre os parâmetros físico-químicos perda de peso, firmeza da polpa, teor de matéria seca e teores de sólidos solúveis totais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MANGA

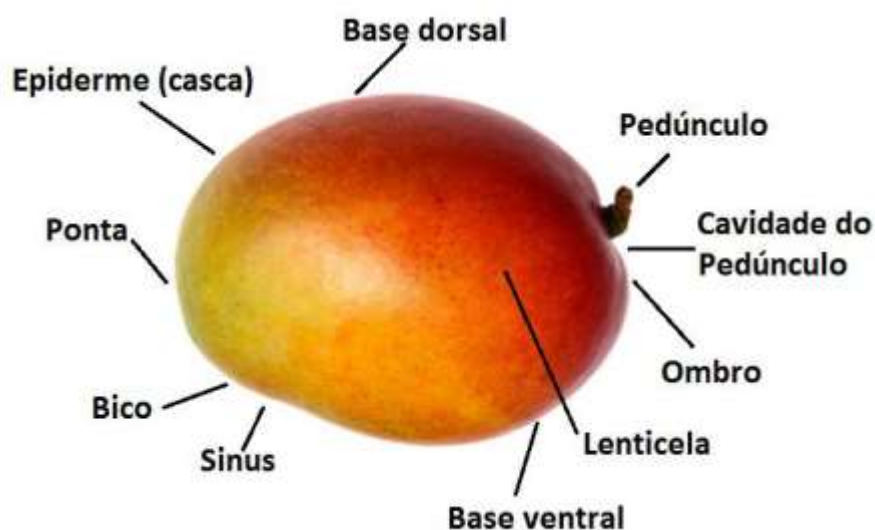
#### 2.1.1 Características gerais

A Manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta cultivada em aproximadamente 3,7 milhões de hectares de área ao redor do mundo (GENTILE et al., 2018). Apresentando variada constituição de carboidratos, proteínas, ácidos, sais, pigmentos, elevado conteúdo de polpa, apreciáveis peculiaridades de sabor e aroma, além de boas propriedades vitamínicas, é atualmente a segunda maior cultura agrícola em territórios tropicais. Possui o *status* de ser a fruta de consumo mais relevante em todo o mundo, que oscila entre 1,2 a 2,5 kg/per capita/ano seja em *in natura* ou processada (PINTO, 2002; MARTIM, 2006; CANUTO; SOUZA; GARRUTI, 2009). O Brasil desponta com elevado número de diferentes cultivares, presentes em extensas regiões, que comumente exportam grande volume da fruta (CARDELLO; CARDELLO, 1998; SILVA et al., 1999; BRUNINI; DURIGAN; OLIVEIRA, 2002; SANTOS, 2003; SANTOS-SEREJO, 2005; BENEVIDES et al., 2008; SINGH et al., 2013; LIMA NETO, 2017).

Pelo que consta em um levantamento realizado pelo Anuário Brasileiro da Fruticultura (KIST et al., 2018) apenas de 2016 a 2017, houve aumento produtivo de 16,46% em exportação com despache de aproximadamente 179 mil toneladas de manga para diferentes países. Segundo o Anuário, esta expressividade está possivelmente associada ao fato do país possuir produção durante todo o ano.

Frutas de manga são encontradas em diversas formas semelhantes, que vai desde a conformação arredondada até a alongada dependendo da cultivar. O comprimento da fruta pode se situar entre 2,5 cm a pouco mais ou pouco menos que 30 cm e o peso vai de poucas gramas até dois quilos. Quanto a polpa, esta é comumente carnosa, suculenta, composta por muitas fibras e de

cor amarela ou amarelo-alaranjada (NETO, 2012). A Figura 1 expõe as regiões morfológicas mais importantes de uma manga.



**Figura 1-** Principais estruturas morfológicas da manga. Fonte: Carvalho, 2015.

O desenvolvimento da fruta passa por muitas etapas até a colheita, geralmente realizada de 100 a 150 dias depois do início da polinização (DAVENPORT, 2007; LIMA NETO, 2017). Por ser climatérica, ou seja, que por meio de substratos reunidos antes da colheita, pode atingir completa maturidade em prateleira, é comumente retirada da planta quando ainda se encontra em estágio de maturação verde (CHITARRA; CHITARRA, 2005; LÉCHAUDEL; JOAS, 2007).

No amadurecimento, diversas alterações bioquímicas e fisiológicas, reguladas pelo fitohormônio etileno afetam diretamente em propriedades qualitativas sensoriais e organolépticas de alto interesse para o consumo (MCATEE et al., 2013; CARVALHO, 2015; OLIVEIRA et al., 2015).

Mundialmente existe inúmeras cultivares de manga, mas como afirma Singh et al. (2013) as mais disseminadas são extremamente perecíveis e amadurecem dentro de sete a nove dias após colheita quando em temperatura ambiente. As peculiaridades de cada cultivar ao longo da cadeia de comercialização são quem determinam a escolha mais adequada por parte de produtores e dinamiza as questões econômicas em torno da fruta,

principalmente quando se trata do mercado internacional (PINTO; PINHEIRO; GUIMARÃES, 2011).

As cultivares mais recomendadas estão associadas a altas produtividades, boa coloração, poucas fibras, boa palatabilidade e a uma significativa resistência a danos mecânicos (COSTA et al., 2008). Para produção, os principais pontos que devem ser considerados, dentro de um período razoável, na escolha de uma cultivar são: a preferência do consumidor; aptidão produtiva da cultivar ao local a ser plantado; e as restrições das questões fitossanitárias, inclusive no pós-colheita (COSTA; SANTOS, 2004).

No Brasil, as cultivares mais comuns da manga estão representadas pelas variedades Espada, Tommy Atkins, Haden, Keitt, Kent e Rosa (GENÚ; PINTO, 2002; ARAÚJO; MORAES; CARVALHO, 2017). Dentre as mais exportadas têm-se: a Haden, composta de superfície amarelo-avermelhada, e peso médio de 480 gramas; a Tommy Atkins, composta por superfície vermelho-verde/amarelada e peso médio de 580 gramas; e a Keitt, composta por superfície amarelo-esverdeada e peso médio de 600 gramas (CARVALHO, 2015).

A manga 'Rosa', em específico, uma das mais conhecidas, está entre as mais valorizadas pelo comércio brasileiro e encontra boa abertura no mercado europeu. Dentre as características desta cultivar, têm-se o fato de possuir árvore de porte médio com copa arredondada e crescimento lento. Fruto vai de amarelo para rosa-vermelho e possui peso médio em torno de 350 gramas, e polpa moderadamente suculenta, fibrosa e saborosa (TEIXEIRA et al., 2004).

### 2.1.2 Vale do São Francisco

O nordeste brasileiro é responsável por mais da metade da produção nacional de manga, estando maior parte concentrada no Vale do Submédio São Francisco, região localizada entre o oeste do estado de Pernambuco e o norte do estado da Bahia. Com clima semiárido tropical, o Vale apresentou crescimento anual de 5,5% de áreas cultivadas no decorrer de 2017 e atualmente é responsável por parte significativa de toda a produção da cultura (Figura 2) (IBGE, 2012; VALEXPORT, 2012; KIST et al., 2018; CEPEA, 2019).



\*Em 2019, passaram a ser considerados, junto de Livramento de Nossa Senhora (BA), os plantios das cidades de Jussiape e Rio de Contas.

**Figura 2** - Estatística de produção de manga no Brasil. Fonte: HORTIFRUTI/CEPEA, 2019.

Para o ano de 2020, estima-se que a região terá aproximadamente 60 mil hectares com produção de manga, em virtude de diversos investimentos (LIMA et al., 2018). O Submédio do São Francisco é responsável por expressivos 95% das exportações do país. Toda esta expressividade deve-se a capacidade que a região tem de produzir a fruta durante todo o ano, dada às adequadas condições climáticas e boa disposição de tecnologias de manejo (SILVA et al., 1999; ARAÚJO et al., 2003). O cultivo da manga na região, não somente se caracteriza pela expansão de áreas produzidas e disposição de frutas com boa qualidade, como também pela alta geração de renda e emprego (BRITTO et al., 2004).

### 2.1.3 Qualidade

O conceito que se tem de qualidade de alimentos vem sendo moldado ano após ano, sendo visto como algo multidimensional, dinâmico, e inerente à visão do consumidor para com propriedades de produtos (NASPETTI; ALBERTI; SOLFANELLI, 2015).

A exigência dos consumidores com a qualidade dos alimentos impacta diretamente na aceitabilidade dos produtos agrícolas (ALANDER et al., 2013). Para atender satisfatoriamente as demandas do consumidor, uma das principais preocupações dos produtores de manga, é disponibilizar ao mercado uma fruta com boa qualidade em termos de aparência, textura e sabor (LIMA; MIRANDA, 2000; LIMA et al., 2016; FARINA et al., 2017).

A produção do hormônio etileno em consequência do processo de amadurecimento climatérico no pós-colheita, faz com que a manga apresente um prazo de validade muito curto, e com isto, muitas de suas características sejam modificadas (BRECHT; YAHIA, 2009).

Estudos que envolvem a análise de parâmetros físico-químicos, bioquímicos e sensoriais, bem como suas esperadas alterações, são decisivos na busca por melhor qualidade da fruta (DOLLHOJO et al., 2009). É altamente necessário correlacionar todos os principais parâmetros para se indicar a qualidade da fruta, em si. Com os processos de modificação, ocorrem, por exemplo, síntese de carotenóides (MERCADANTE; RODRIGUEZ-AMAYA, 1998), perda de ácido ascórbico (HERNÁNDEZ; LOBO; GONZÁLEZ, 2006), aumento dos teores de sólidos solúveis (PADDA et al., 2011), mudanças físicas como peso, tamanho, forma, firmeza e cor (KIENZLE et al., 2011), além de alterações no aroma, conteúdo nutricional e sabor da fruta (GIOVANNONI, 2004; JHA et al., 2011).

A qualidade de características de interesse comercial é fortemente dependente de variáveis como genótipo, estágio de maturação quando colhida, e clima sob o qual a fruta se desenvolve (WANITCHANG et al., 2011).

Em estudo com mangas da variedade Rosa, Matos (2000) apresentou um valor de peso de 300 a 350 gramas, cor amarela para a polpa e teor de sólidos solúveis totais variando de 14 a 16 °Brix, como sendo características desta cultivar. Por sua vez, Batista et al. (2015) ao estudar o mesmo tipo de variedade no Vale do Submédio São Francisco, observou que o peso médio foi de 327 gramas e os sólidos solúveis foi de 13,8 °Brix.

A avaliação dos diversos parâmetros de qualidade é geralmente viabilizada por uma série de metodologias padrões e instrumentos específicos de análise. A desaceleração da perda de vida útil pela fruta, e consequentemente de sua qualidade é realizada por atividades pós-colheita

que envolvem o uso de tratamento térmico, armazenamento a frio ou armazenamento sob atmosfera controlada, revestimentos comestíveis, dentre outras formas (TORRES et al., 2013).

No âmbito da qualidade das frutas *in natura* existe ainda um vasto número de normas que se diferenciam a depender do país, do continente ou mercado considerado. No Brasil, padrões de qualidade são estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA), sendo elaborados por cooperativas, associações ou consumidores (TEIXEIRA et al., 2004).

## 2.2 PERDAS PÓS-COLHEITA DE FRUTAS

No contexto agroalimentar, perdas se configuram como diminuição na disponibilidade física do produto, em razão da deterioração de sua qualidade. Perdas expressivas de frutas e vegetais pela deterioração da qualidade ocorrem comumente como consequência de práticas incorretas no gerenciamento de temperaturas de armazenamento e ausência constante de monitoramento de propriedades fisiológicas relevantes para manutenção de um produto de excelência ao longo das diferentes fases da cadeia de produção e comercialização (CARVALHO, 1994; ALVAREZ; TRYSTRAM, 1995; VILELA et al., 2005; RUIZ-ALTISENT et al., 2010).

Segundo levantamento da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) realizado no ano de 2011, frutas em conjunto com outros produtos agrícolas representam de 40 a 50% das perdas dentro do setor alimentício (FAO, 2011).

O Brasil é considerado o terceiro maior produtor de frutas e hortaliças do mundo, se aproximando de um quantitativo de 45 milhões de toneladas, que o torna um dos principais exportadores de produtos agrícolas (IBGE, 2013; EMBRAPA, 2015). O grande problema do setor se encontra na cadeia pós-colheita, onde aproximadamente 35% dos produtos são perdidos gradualmente desde o manuseio na colheita até o consumo (FERREIRA; FERRARI, 2007; FISCHER et al., 2009; IPEA, 2009).

Para frutas de manga, atividades pós-colheita inadequadas podem acarretar em desperdícios de produto de forma quantitativa ou qualitativa, tanto por sua degradação física quanto pela redução de propriedades nutricionais



essenciais (CHOUDHURY; COSTA, 2004; NEVES et al., 2008; FISCHER et al., 2009).

Diante das diversas formas pelas quais ocorrem as perdas, agricultor e consumidor são os mais diretamente impactados, pois enquanto investimentos prévios em produção são transformados em prejuízos para o agricultor, que tem um retorno financeiro menor que o esperado, a redução na disponibilidade do produto, resulta em altos custos de aquisição para o consumidor. Com isto, somente ações integradas em todo setor com a aplicação de tecnologias pode gerar mudanças (CARVALHO, 2009).

Costa, Guilhoto e Burnquist (2015) reforçam que reduzir perdas de produtos alimentares, não apenas colabora com diminuição de preços, mas também com aumento de renda e emprego.

Enquanto que em países desenvolvidos os desperdícios alimentares ocorrem no final da cadeia de produção, durante manuseio do consumidor final, nos países em desenvolvimento o maior quantitativo de perdas ocorre nas etapas pós-colheita, como resultado da ausência de estrutura logística e inadequado manejo dos produtos colhidos. Diminuir estas perdas é crucial para a sustentabilidade da cadeia produtiva (LOUISE; GOEDHALS-GERBER; KHUMALO, 2019).

### 2.3 ARMAZENAMENTOS PÓS-COLHEITA

Após colheita, frutas produzidas em regiões de clima tropical, como o Brasil, passam por aceleradas taxas de amadurecimento, tornando o manejo fisiológico e as técnicas que amenizam o processo, em fatores decisivos para se inibir perdas e garantir o sucesso das diversas etapas comerciais, tanto a nível nacional quanto a nível internacional (MENEZES; ALVES, 1995; BRECHT; YAHIA, 2009).

Por apresentar características qualitativas peculiares e serem produzidas em elevadas quantidades, inúmeros tipos de frutas tem papel importante para o mercado, mas quando dispostas com estágios de maturação desuniforme, má aparência, e sobre alocações isentas de correta refrigeração, se tornam pouco aceitas e perdem valor (XAVIER et al., 2009).

Tendo em vista que a temperatura seja determinante para manter a qualidade pós-colheita, reduzi-la durante o armazenamento de produtos agrícolas é a principal forma de inibir reações químicas deteriorantes e em paralelo prolongar a vida útil do produto (CHAVES; ZARITZKY, 2018). Com o retardo do metabolismo, ocorre simultaneamente a redução de alterações físico-químicas, que geram amaciamento da textura, mudanças na cor e perda de água, que por sua vez, afeta negativamente o peso do produto (KADER, 2002).

### 2.3.1 Cadeia do frio

A gestão eficaz da temperatura, desde a colheita até o consumo final, é fator crítico para o bom desempenho agrícola. A cadeia do frio é como um complexo estruturado, composto por etapas de resfriamento, estocagem, transporte e varejo, capaz de suprir temperaturas e umidades controladas, que torna viável a comercialização nacional e internacional dos produtos (AUNG; CHANG, 2014; BERRY et al., 2015; MATARE, 2012; ARAH et al., 2015; RODRIGUE; NOTTEBOOM, 2017).

O objetivo principal da cadeia do frio nada mais é do que garantir um produto íntegro, tanto em etapas de armazenagem quanto de distribuição. O grande problema é que geralmente a integridade do produto pode não chegar a ser totalmente conservada, principalmente quando ocorrem oscilações de temperaturas para além ou aquém das faixas adequadas a cada fruta ou hortaliça (MALGARIM; CANTILLANO; COUTINHO, 2006; MERCIER et al., 2017).

Alguns estudos mostram que frequentemente a cadeia do frio de diferentes tipos de produtos agrícolas sofre perturbações, que envolvem o transporte, custos diversos e perdas devido à alta perecibilidade das mercadorias. Manter baixas temperaturas é desafiador dentro das cadeias do frio (BADIA-MELIS et al., 2018; NDRAHA et al., 2018). Os produtos são comumente expostos a temperaturas mais altas quando em transição de ambientes e em períodos de degelo dos equipamentos.

Dentre os principais desafios da cadeia do frio estão o monitoramento da vida útil dos produtos e a atenuação de ameaças ao bom funcionamento de

todo o sistema, que em suma devem ser realizados continuamente entre produtor e consumidor (RUIZ-GARCIA; LUNADEI, 2011; LÜTJEN; DITTMER; VEIGT, 2013; CUIÑAS et al., 2014).

Na cadeia do frio, aspectos de vida útil, de qualidade e de segurança dos produtos agrícolas são drasticamente afetados pela temperatura e umidade relativa em todas as etapas da logística (AUNG; CHANG, 2014).

Ruiz-Garcia e Lunadei (2011) apontam que cerca de 35% de produtos da logística de frutas e hortaliças são perdidos somente na etapa de transporte, em decorrência do inadequado controle da temperatura. Ter informações sobre históricos de temperaturas do produto é de extrema importância, para se ter maiores certezas em relação a sua vida útil dentro da cadeia (KETZENBERG; BLOEMHOF-RUWAARD, 2009; JEDERMANN et al., 2014).

Ben-Tzur et al. (2015) alertam que mesmo diante da existência de um grande número de tecnologias de conservação de qualidade, estas ainda não são utilizadas de forma integrada dentro da cadeia, não ocorrendo interação e continuidade entre as distintas etapas. É comumente recomendado fazer uso de registradores para monitoramento contínuo dos ambientes refrigerados, para que assim, os dados coletados possam ser avaliados e possíveis correções sejam feitas.

Dois requisitos são importantes do ponto de vista prático, para o sucesso da cadeia do frio (CORTEZ; HONÓRIO; MORETTI, 2002; NEVES FILHO, 2003):

- Realização de cálculos referentes a níveis de ar refrigerado para todos os processos envolvidos;
- Adequada seleção de equipamentos ou do sistema mais viável para a operação que se pretende instaurar, considerando atividades de manutenção e consumo de energia.

## 2.3.2 Mecanismos de resfriamento

### 2.3.2.1 Resfriamento rápido

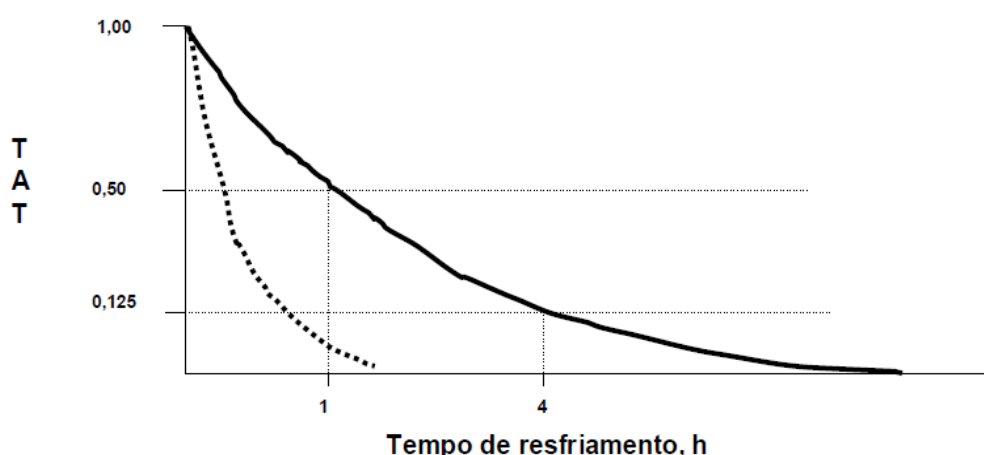
Os chamados mecanismos de resfriamento rápido são métodos adotados para retirar o calor de campo da fruta após colheita e estabilizar sua

temperatura para próximo do valor que seria ideal ao posterior armazenamento em câmara fria. Minimizar o tempo entre colheita e início de resfriamento é crucial para reduzir processos de transpiração e respiração pela fruta (CASQUERO; GUERRA, 2009).

Frutas típicas de regiões com clima temperado, tais como, morangos, cerejas e damascos, necessitam ser acondicionadas em resfriamento próximo a 0 °C por 6 horas após a colheita. Outras frutas devem ser resfriadas até 12 horas após a colheita. Tipos diversos de instalações são utilizados para operações com tal finalidade (WILLS et al., 2007).

O tempo necessário para um resfriamento rápido completo depende de muitas variáveis, como coeficiente de transferência de calor, diferença de temperatura entre o produto e meio de resfriamento, propriedades termofísicas, tamanho e geometria dos produtos, tipo de meio de resfriamento, tipo de embalagem, e forma como as frutas estão nestas acondicionadas (BROSNAN; SUN, 2001; TERUEL, 2008).

O bom desempenho do sistema é quantificado com base nos parâmetros tempo de meio resfriamento ( $1/2 t_h$ ) e tempo de sete oitavos do resfriamento ( $7/8 t_h$ ), os quais podem ser visualizados graficamente através da projeção de uma taxa adimensional em relação ao tempo de exposição do produto ao ar (Figura 3).



**Figura 3-** Curva característica de resfriamento. ---Temperatura na superfície ( $T_s$ ); – Temperatura na polpa ( $T_c$ ). Fonte: Teruel, 2008, Adaptado de Chau e Gaffney, 1990.

O tempo de meio resfriamento é um valor adimensional igual a 0,5 pelo qual a fruta alcança uma temperatura média entre a temperatura inicial e a temperatura do ambiente. O tempo de  $7/8$  th resfriamento é um valor adimensional igual a 0,125, resultante do resfriamento de  $7/8$  da temperatura da fruta, depois que esta temperatura apresenta valor igual à diferença entre a temperatura inicial e a temperatura do ambiente. Quando a fruta alcança o tempo de  $7/8$  de resfriamento, alcança também sua temperatura ideal para armazenamento em câmara fria (MOHSENIN, 1980; ASHRAE, 2002; THOMPSON; MITCHELL; KASMIRE, 2007).

A taxa de resfriamento depende da temperatura da fruta, temperatura do ambiente, taxa de respiração da fruta, circulação de ar dentro das embalagens, etc. Caso o sistema implantado não seja suficientemente eficaz para remover o calor em tempo hábil, o arrefecimento será finalizado apenas após dias, o que pode ocasionar alguns distúrbios para a fruta. O processo pode ser realizado com uso de água fria, ar frio, por meio do mecanismo por ar forçado ou naturalmente (BENICHOU et al., 2018).

O melhor método a ser utilizado varia em suma, com a fisiologia da fruta, com a temperatura na colheita, com a suscetibilidade a incidência de patógenos, com a vida útil que se deseja durante armazenamento, e não menos importante, com o custo-benefício envolvido (WILLS et al., 1998).

#### 2.3.2.1.1 Resfriamento por ar forçado

O método de resfriamento por ar forçado é o mais utilizado e adaptado a diferentes condições (PARSONS; MITCHELL; MAYER, 1970; RIJ; THOMPSON; FARNHAM, 1979; THOMPSON; KESMIRE; MITCHELL, 1998). Em um sistema forçado, o ar refrigerante é utilizado como mecanismo de resfriamento. Para o arrefecimento, duas linhas de embalagens paletizadas são colocadas em ambos os lados de um canal para retorno de ar, que pode ser composto por inúmeros sistemas de fluxo, ou mais comumente por um resfriador de túnel (THOMPSON; KESMIRE; MITCHELL, 1998).

Teruel (2008) diz que o método consiste em forçar a passagem de um fluxo de ar frio unidirecional, emanado por evaporadores, por um palete coberto

por lona, que auxilia no direcionamento do fluxo por entre as frutas, até que o fluxo contendo o calor seja retirado por ventiladores.

Em sistemas forçados o ar frio pode circular no ambiente de várias formas, a depender do modelo de serpentina evaporativa. Para frutas tropicais, geralmente os refrigeradores são colocados no teto da câmara. O ar mais frio é direcionado pela horizontal abaixo do teto, atingi a fruta por cima em sentido para baixo e segue horizontalmente pelo retorno de fluxo (BENICHOU et al., 2018).

Os produtos devem ser empilhados de forma que possibilite a circulação adequada do ar frio (YAHIA; ELANSARI, 2011). Este tipo de disposição agrega economia, alta popularidade e curto período de instalação, apesar de ser limitado a pequenos espaços (JACKMANN, 2007). Um bom sistema forçado deve ser capaz de possibilitar o contato do ar com todos os locais que estejam com frutas, a um fluxo de  $0,3 \text{ m}^3/\text{min}$  por tonelada de produto (CHAVES; ZARITZKY, 2018).

Uma grande desvantagem do sistema de resfriamento por ar forçado, quando mal manejado, está no fato da facilidade que tem de deslocar por gradiente negativo, a água de dentro, para fora da fruta, podendo com isto causar danos a sua qualidade (ASHRAE, 1993).

### 2.3.3 Armazenamento refrigerado

O armazenamento refrigerado lento sucede o resfriamento rápido com fins de manter as boas características da fruta a curto ou longo prazo. Visa prolongar o tempo de vida útil dos produtos agrícolas, por meio da redução dos processos metabólicos, diminuição da proliferação microbiana, e da inibição de altos níveis de desidratação, sendo ponto chave para que produtores e demais envolvidos na cadeia de comercialização oferte uma fruta com boa qualidade e tenham mínimas perdas (SAKAMOTO, 2005; CHAVES; ZARITZKY, 2018).

Do ponto de vista prático, o armazenamento refrigerado é um conjunto de aparatos sistematizados que condicionam o ar em determinado ambiente com produtos perecíveis. Por meio dos aparatos, que devem ser rigorosamente controlados em termos de temperatura e umidade, o ambiente pode ser

resfriado até uma condição térmica que tenha compatibilidade com as propriedades fisiológicas do produto (RAO, 2015).

O método de armazenamento a frio largamente utilizado é por câmaras frias. Neste método, a amenização das perdas de características qualitativas ocorre se adequando temperatura e umidade até as faixas recomendadas para cada produto (PINTO et al., 2015).

Algumas câmaras frias acondicionam diferentes tipos de frutas simultaneamente por curtos intervalos de tempo. Sob tais condições deve-se sempre considerar recomendações de temperatura, umidade relativa, taxa de respiração, produção e sensibilidade ao etileno, além de possível absorção de odores (THOMPSON; MITCHELL; KASMIRE, 2007).

Problemas relacionados a desidratação de frutas, que resultam em perda de peso e com isso em desvalorização comercial, podem ser controlados reduzindo temperatura, elevando a umidade do ambiente, e até mesmo adotando a combinação do armazenamento com a modificação da atmosfera dentro das embalagens utilizadas para o acondicionamento. O modelo das embalagens nas quais as frutas são acondicionadas pode ter também, grande importância para o tempo de resfriamento (OPARA; MDITSHWA, 2013; DEFRAEYE et al., 2015).

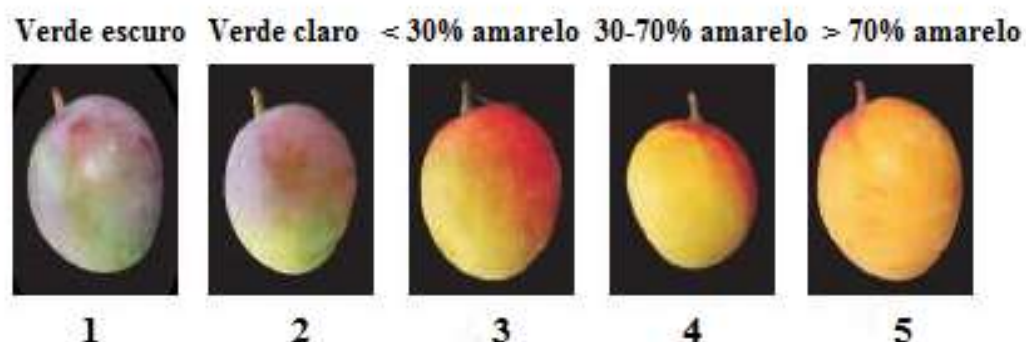
A minimização dos processos deteriorantes costuma ocorrer sob temperaturas imediatamente superiores ao ponto de congelamento para alguns tipos de frutas ou acima do limiar de lesão ao resfriamento para outros tipos. As lesões em consequência do resfriamento inadequado se manifestam por meio do escurecimento, corrosão, áreas encharcadas de água, falha no amadurecimento, desenvolvimento de sabores estranhos, e incidência de ataque de fungos. Frutas sensíveis ao resfriamento, que em maioria são aquelas de regiões tropicais, são danificadas quando mantidas a temperaturas acima do ponto de congelamento e abaixo de 5 a 15 °C (KADER, 2007).

Frutas como maçãs, peras, e pêsegos, que apresentam baixa suscetibilidade a lesões por frio, podem ser armazenadas a 0 °C. Frutas com moderável suscetibilidade, como abacate, cítricos, e abacaxi, podem ser armazenadas entre 7 e 10 °C. Frutas altamente suscetíveis, podem ser armazenadas entre 12 e 15 °C. Estas temperaturas devem ser manuseadas com variação de  $\pm 1$  °C. Possíveis oscilações acima ou abaixo da variação

aceita prejudicam o bom desempenho do sistema de circulação de ar (CHAVES; ZARITZKY, 2018).

Kohatsu et al. (2011) demonstraram que a temperatura de 8 °C foi a mais adequada para prolongar a vida útil de frutos de cajá-manga e influenciar nas suas características qualitativas. Pfaffenbach et al. (2003) constataram que embalagens com atmosfera modificada do tipo PEBD + sachê, unida ao armazenamento frio impactou na manutenção da qualidade, enquanto que outro tipo, o Conservax prejudicou a maturação dos frutos de manga espada.

No geral, mangas podem ser armazenadas entre 10 e 13 °C, de acordo com o estágio de maturação (Figura 4) e cultivar. Devido à sensibilidade que apresenta aos danos pelo frio, não devem ser armazenadas em temperaturas abaixo de 13 °C, quando verdes crescidas (estágio 1-2). Frutas parcialmente maduras (estágio 4) ou maduras (estágio 5) podem ser armazenadas em temperaturas de 10 °C (SANTOS et al., 2008; ZAHARAH; SINGH, 2011; ZHANG et al., 2017).



**Figura 4-** Escala numérica de maturação em relação à cor de casca da manga.  
Fonte: Santos et al., 2008.

A umidade relativa da câmara é outro fator a ser atentado, com vistas a reduzir perdas de água pela fruta e desenvolvimento microbiano. Para a maioria das situações que envolvem armazenamento de frutas, se é recomendado uma umidade relativa entre 85 e 95% (CHAVES; ZARITZKY, 2018).

Ferramentas gerenciais de temperatura e umidade necessitam ser adotadas com finalidade de tornar o processo de armazenamento refrigerado



das frutas, mais preciso e eficiente. Monitores de temperatura e de tempo, que podem ser colocados na embalagem junto ao produto, termômetros infravermelhos e eletrônicos, em vários locais dentro da câmara, são os principais exemplos aplicados (CHAVES; ZARITZKY, 2018).

### 3. ARTIGO I: Sistema comercial de refrigeração de mangas ‘Rosa’: efeitos de programas de resfriamento rápido no arrefecimento da fruta

#### Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento de um sistema comercial de resfriamento de manga ‘Rosa’ em função dos efeitos de programas de resfriamento rápido no arrefecimento da fruta. Mangas ‘Rosa’ foram igualmente distribuídas em três camadas de um total de seis paletes e submetidas a programas de 120 e 240 minutos de resfriamento rápido. Sensores térmicos foram utilizados para monitorar valores de temperaturas ao longo do resfriamento. Modelagem matemática foi aplicada para prever taxas de arrefecimento e índices de heterogeneidade. A câmara de resfriamento atingiu temperatura média de 10 °C, e as frutas atingiram temperaturas de polpa de 15 °C (com programa de 120 minutos) e de 14 °C (com programa de 240 minutos) que não se diferenciaram significativamente. Independente do programa de resfriamento adotado e da localização da fruta no palete, o tempo de 7/8 th do resfriamento não foi alcançado. A polpa da fruta apresentou um coeficiente médio de resfriamento em torno de 0,0097 min<sup>-1</sup> quando exposta a programa de 120 minutos e de 0,0089 min<sup>-1</sup> quando exposta a programa de 240 minutos. Os programas de resfriamento rápido não proporcionaram temperaturas homogêneas entre as frutas, como seria esperado, uma vez que parte das mangas foi retirada da câmara com temperaturas mais elevadas que outras, mostrando uma heterogeneidade que pode influenciar na qualidade das frutas. Os resultados apontam para a escolha de 120 minutos como programa mais viável de resfriamento e podem auxiliar para um manejo mais otimizado do sistema comercial de refrigeração.

**Palavras-chave:** Conservação pós-colheita. Temperaturas de armazenamento. Ar forçado.

#### 1. Introdução

Os sistemas de resfriamento inseridos nos inúmeros eixos que compõem a cadeia do frio são decisivos para a subsistência fisiológica de variados tipos de frutas na fase pós-colheita. Estes sistemas promovem cruciais remoções de temperatura de polpa, a principal responsável pela indução de atividades respiratórias/metabólicas contrárias à conservação da integridade de características comerciais altamente valorizadas pelo consumidor (BROSNAN; SUN, 2001; TERUEL, 2008; ROBERTSON, 2012).

O resfriamento rápido por ar forçado é considerado um dos mais utilizados sistemas de arrefecimento da cadeia de exportação de frutas. Através de um resfriador que impulsiona a passagem do fluxo de ar com alta velocidade e baixas temperaturas pela fruta, o sistema deve ser capaz de inibir incidência patogênica, amenizar perdas de água, ocasionar aumento da vida útil do produto e viabilizar para que as câmaras frias sejam projetadas com capacidade de refrigeração reduzida e menores custos energéticos

(BROSNAN; SUN, 2001; CENCI, 2006; TERUEL, 2008; ELANSARI; MOSTAFA, 2018).

Em escala comercial, um sistema de resfriamento rápido necessita ser bem manejado para que desempenhe adequadamente sua função de conservar a qualidade do produto, visto que a depender da eficiência dos equipamentos de refrigeração, do tamanho das frutas, modelos de caixas, da maneira que as caixas são empilhadas, da carga de produto a ser atendida, da ocorrência de abertura de portas e do tempo necessário para um resfriamento rápido completo, o sistema pode distribuir o ar frio de forma heterogênea dentro do palete, o que não é recomendável ao setor (KRISHNAMURTHY; RAO, 2001; DELELE et al., 2008; DEFRAEYE et al., 2013; O'SULLIVAN, 2016; BERRY et al., 2017).

No entanto, para as condições de mercado, estudos com resfriamento rápido estão comumente associados a consideráveis valores econômicos, demandam um expressivo número de frutas, tempos mais longos de exposição, e um processo mais ágil de locação, realocação e retirada de sensores, para que isto não interfira na rotina do sistema durante o monitoramento dos elementos térmicos. Ainda assim, são extremamente importantes ao entendimento de como se comportam variáveis como temperatura e taxa de resfriamento das frutas, sob influência de aspectos relacionados principalmente ao tempo de exposição do produto e sua localização no palete (KUMAR; KUMAR; MURTHY, 2008; WU et al., 2018).

O tempo necessário para um resfriamento rápido completo é um dos fatores de maior relevância para o sucesso de um sistema bem projetado, sendo sua determinação um dos grandes entraves da cadeia. A análise de taxas de resfriamento ao longo de períodos pré-fixados, é comumente realizada seguindo critérios empíricos devidamente estabelecidos, sendo os mais comuns, o tempo de meio ( $1/2$  th) resfriamento, o tempo de sete-oitavos ( $7/8$  th) do resfriamento e o coeficiente de resfriamento (SESTARI; KLUG, 2008; RAO, 2015; ELANSARI; MOSTAFA, 2018).

Avaliar a magnitude de possíveis heterogeneidades entre temperaturas de produtos, em decorrência de desiguais distribuições do ar ambiente, é outro passo crucial para se indicar pontos de zonas quentes e frias ao longo de operações de resfriamento rápido, e se viabilizar ferramentas adequadas ao desenvolvimento de modelos de previsão para um sistema de arrefecimento (ZHAO; BRONLUND; EAST, 2014; MERCIER; BRECHT; UYSAL, 2019).

A comum existência de temperaturas significativamente heterogêneas no decorrer do resfriamento já foi relatada em alguns estudos como os de Defraeye et al. (2014) e Han et al. (2015) que apontaram como uma das principais causas, o aquecimento do ar que atravessa os produtos sequencialmente. Por não apresentar conformação esférica, além de possuir polpa e sementes com diferentes propriedades térmicas, a manga é fortemente vulnerável a processos de heterogeneidade, que na maioria das vezes, são pouco abordados e compreendidos durante o arrefecimento convectivo (TAGLIAVINI; DEFRAEYE; CARMELIET, 2019).

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o comportamento de um sistema comercial de refrigeração de manga ‘Rosa’ em função dos efeitos de programas de resfriamento rápido no arrefecimento da fruta.

## **2. Materiais e métodos**

### 2.1 Caracterização do sistema de refrigeração

O estudo foi conduzido em uma fazenda produtora de frutas localizada na região do Vale do Submédio São Francisco (Brasil: 9° 23' 39" S, 40° 30' 35"W), entre os meses de agosto a outubro, ano 2018, durante o armazenamento comercial. A fazenda possui um sistema de refrigeração composto por: (1) câmara de resfriamento rápido com dimensões 3,35 x 5,71 x 3 m, constituída por dois arrefecedores não sincronizados de classe industrial, um conjunto de turbinas de sucção de ar e uma porta de dimensões 1,57 x 2,5 m com cortina de lona, que visa a redução das trocas térmicas com o ambiente externo; (2) câmara fria com dimensões 4,48 x 5,71 x 3 m, composta por compressor de 5,5 hp e intervalo de temperatura entre 5 °C e 7 °C com *setpoint* em 6 °C.

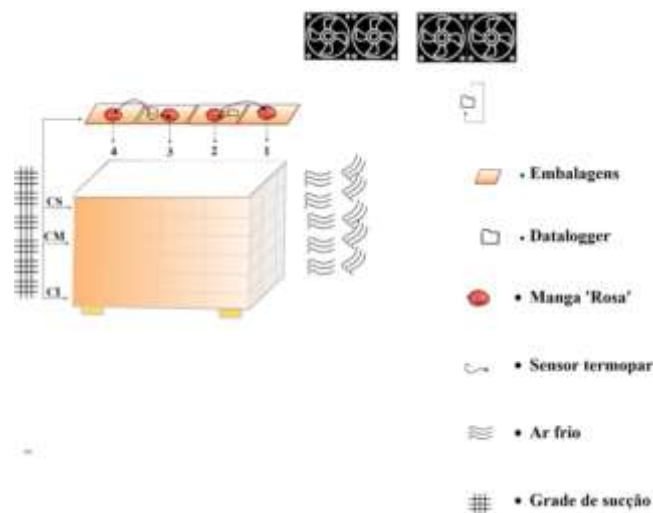
### 2.2 Armazenamento na câmara de resfriamento rápido

As frutas de mangas (*Mangifera indica* L.) da variedade Rosa foram acondicionadas em 84 embalagens de papelão com parede dupla e capacidade de 4 kg. As embalagens com as frutas foram dispostas verticalmente formando um palete (12 embalagens x 7 camadas), com dimensões de 1,14 x 1,08 x 1,20 m.

Durante o experimento, seis paletes foram submetidos a dois programas horários de resfriamento rápido, de forma que em três distintos dias, um palete foi acondicionado por 120 minutos e outro por 240 minutos na câmara. Os programas horários de resfriamento rápido foram escolhidos em virtude da rotina da fazenda. Com vistas ao arrefecimento, os dois paletes foram individualmente alinhados com a grade da doca de sucção e cobertos por uma lona que induziu as trocas convectivas, proporcionando um fluxo de ar unidirecional de 2,7 m/s.

### 2.3 Mensurações térmicas

A medição da temperatura de polpa da fruta foi realizada por *data loggers* Hobo<sup>®</sup> U12 Temp/RH/2 *External* (Onset Computer Corporation, Massachusetts, EUA), com precisão de  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ . Foram monitoradas doze mangas subdivididas, igualmente, entre três camadas de cada palete, sendo estas camadas denominadas: (1) camada inferior (CI); (2) camada média (CM); e (3) camada superior (CS). Na coluna central dos paletes, quatro sensores conectados a dois *data loggers* foram inseridos individualmente na polpa de quatro mangas distintas, localizadas em diferentes posições horizontais das três camadas (Figura 5).



**Figura 5-** Representação da câmara de resfriamento rápido, com a presença do palete e dos registradores térmicos conectados as frutas de cada camada. Legenda: 1: fruta 1; 2: fruta 2; 3: fruta 3; 4: fruta 4; CI- camada inferior; CM- camada média;CS- camada superior.

Para medições de temperatura e umidade do ar, dois *datas loggers* foram conectados nas superfícies de duas paredes internas da câmara de resfriamento rápido. Todos os dados foram registrados com amostragem de um minuto.

O *software* livre R 2.11.1 (R Development Core Team, Berlim, Alemanha) foi utilizado na análise de variância e no teste de significância de Tukey para comparar os resultados considerando um p-valor crítico de 0,05.

## 2.4 Modelagem teórica e experimental do resfriamento rápido

### 2.4.1 Taxa adimensional da temperatura de polpa

Os tempos experimentais de meio (0,5) e de sete-oitavos (0,125) do resfriamento foram calculados por meio da taxa adimensional de temperatura com uso da equação 1.

$$\check{T}_\alpha(t) = 1 - \frac{T_{\alpha,0} - T_\alpha(t)}{T_{\alpha,0} - T_{A,\min}} \quad (1)$$

Onde  $\check{T}_\alpha(t)$  é o adimensional de temperatura no local  $\alpha$ ,  $T_\alpha(t)$  é a temperatura medida no mesmo local,  $T_{\alpha,0}$  é a temperatura inicial no mesmo local, e  $T_{A,\min}$  é a temperatura mínima do ar durante o resfriamento rápido.

### 2.4.2 Taxa de variação da temperatura de polpa

Os coeficientes experimentais médios de resfriamento, que representam as taxas de variação da temperatura de polpa por unidade de variação das diferenças de temperatura entre a polpa e o meio de resfriamento, foram calculados com uso da equação 2.

$$C = \frac{\ln T_\alpha(t)}{\theta} \quad (2)$$

Onde  $C$  é o coeficiente de resfriamento ( $\text{min}^{-1}$ ) e  $\theta$  o tempo decorrido durante o arrefecimento (min).

Com uso da equação 2, coeficientes teóricos médios de resfriamento foram calculados a partir de temperaturas estimadas por diferentes modelos matemáticos,

resultantes do ajuste da temperatura experimental *versus* o tempo de resfriamento rápido. Os coeficientes teóricos foram plotados em função dos coeficientes experimentais. O *software* livre Microfit (SIQUEIRA et al., 2014) foi utilizado para o desenvolvimento e plotagem dos modelos matemáticos ajustados.

#### 2.4.3 Índices de heterogeneidade da temperatura de polpa

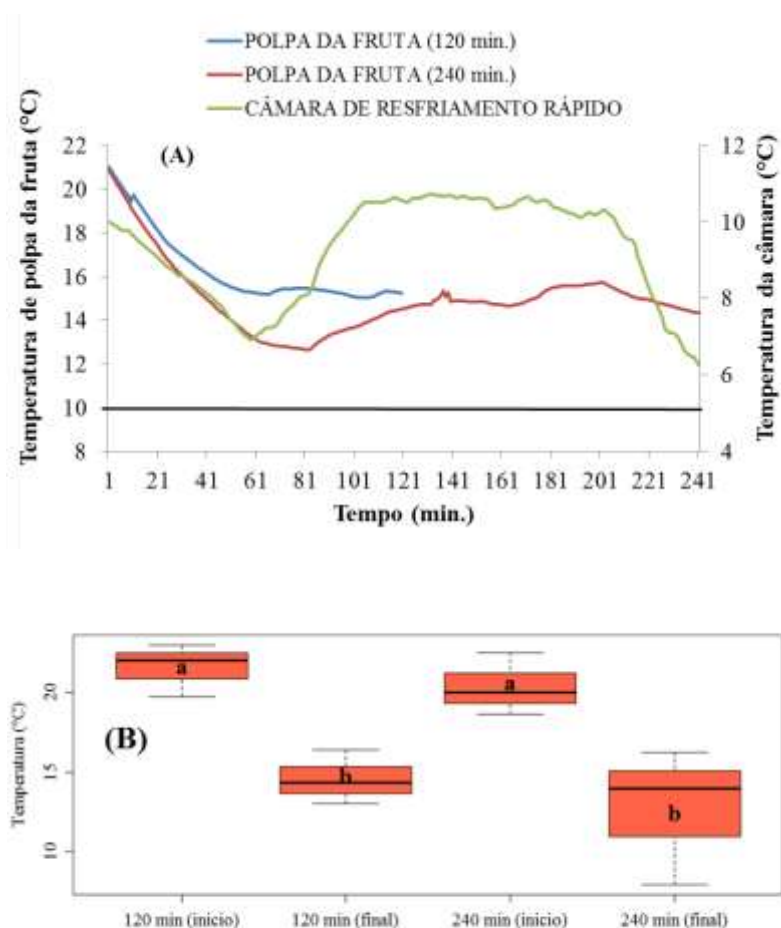
O *software VariCool* v1.0 (OLATUNJI et al., 2017) foi utilizado na modelagem, visualização e quantificação dos níveis de heterogeneidade do processo de resfriamento rápido. Com emprego dos dados de temperatura *versus* tempo, o *software* disponibilizou:

- uma curva de resfriamento bruto, com HCT (tempo de meio resfriamento) e SECT (tempo de sete-oitavos do resfriamento);
- um gráfico de heterogeneidade, plotando uma variável  $\Delta Y$  (temperatura adimensional) em função de uma variável  $\bar{Y}$  (mudança de quantidade fracionada média não atendida) para se visualizar possíveis variabilidades ( $\Delta Y > 0$  representa produtos mais quentes do que a média, que resfriam mais lentamente,  $\Delta Y < 0$  representa produtos mais frios que a média, que resfriam mais rapidamente e  $\Delta Y = 0$  representa a temperatura média);
- um mapa de heterogeneidade, plotando uma variável  $F(\Delta Y)$  (frequência cumulativa de um dado valor de  $\Delta Y$ ) em função de  $\bar{Y}$ , e um Índice de Heterogeneidade Global (OHI), que quantifica a heterogeneidade total do processo (OHI=0 representa um sistema com perfeita uniformidade de temperatura, OHI=0,05 representa um sistema com baixo nível de heterogeneidade e OHI=0,1 representa um sistema com alto nível de heterogeneidade);
- um gráfico de distribuições enviesada-normal de temperatura em 8 determinados intervalos de  $\bar{Y}$  (1, 0,875, 0,75, 0,625, 0,5, 0,375, 0,25 e 0,125), com parâmetros de escala ( $\omega$ ) (desvio padrão de  $\Delta Y$ ), localização ( $\varepsilon$ ) (média de  $\Delta Y$ ) e forma ( $\alpha$ ) ( $\alpha > 0$  representa uma maior proporção de temperaturas mais quentes e  $\alpha < 0$  representa uma maior proporção de temperaturas mais frias).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Comportamento da temperatura durante resfriamento rápido

As curvas de variações e o comportamento estatístico da temperatura de polpa da manga frente ao resfriamento rápido estão dispostos na Figura 6.



**Figura 6-** Curvas de variações (A) e comportamento estatístico (B) da temperatura de polpa para mangas com 120 e 240 minutos de resfriamento rápido. A reta em preto (A) indica a temperatura ideal para o posterior armazenamento em câmara fria. Boxplots (B) seguidos de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Ocorreu uma diminuição nos valores mensurados de temperatura durante os primeiros 60 minutos, tanto para mangas com 120 minutos quanto para mangas com 240 minutos de resfriamento rápido.



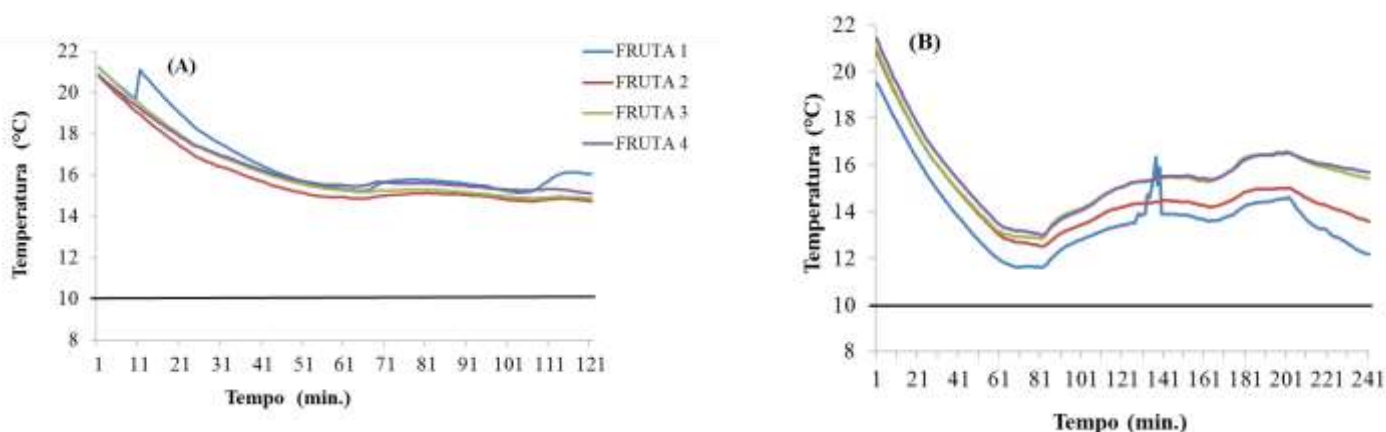
A acentuada diminuição da temperatura inicial pode estar relacionada à atuação de partida do sistema de arrefecimento, que possibilitou o aumento das trocas convectivas por gradiente térmico entre o ambiente e a fruta.

Após 120 minutos, momento em que o primeiro palete foi retirado do ambiente, a temperatura de polpa das frutas que permaneceram no processo, passa por um pico de elevação, em razão de um incremento térmico pela interferência de fatores externos (trânsito de pessoas e produtos) à câmara.

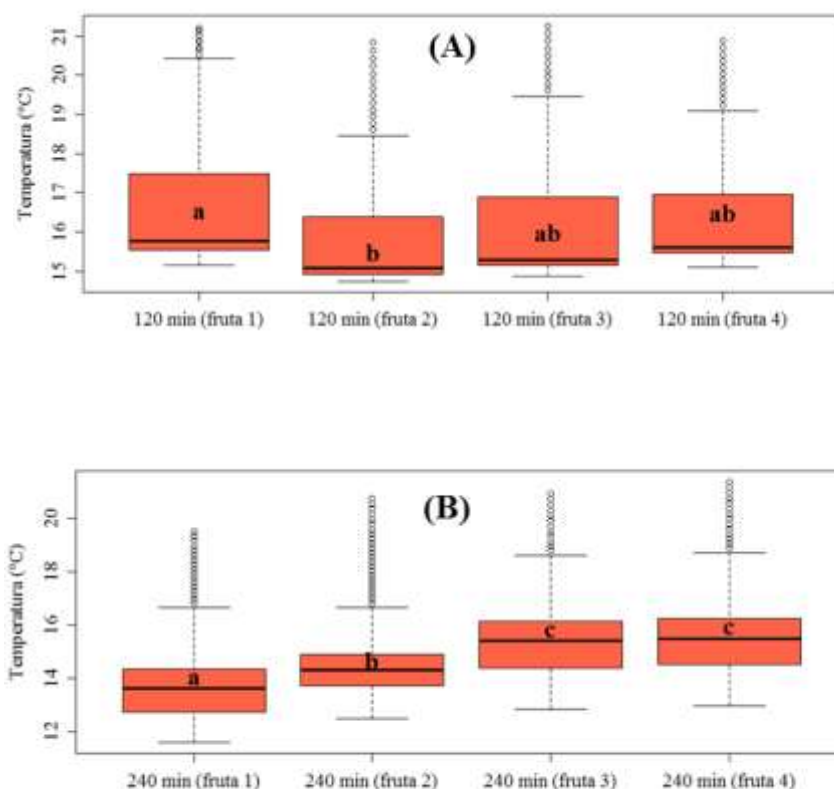
A Figura 6B revela ter existido diferenças significativas entre os valores médios iniciais e finais de temperatura, tanto para polpa da manga com 120 minutos (temperatura inicial de 21 °C e final de 15 °C) quanto para a polpa da manga com 240 minutos (temperatura inicial de 21 °C e temperatura final de 14 °C) de resfriamento rápido.

Comparando somente os valores médios finais de ambos os programas de resfriamento rápido, observa-se, no entanto, que não houve diferenças significativas, ainda que com 240 minutos a polpa tenha alcançado as menores temperaturas (Figura 6B). Embora o ambiente tenha contribuído de forma efetiva para a diminuição das temperaturas, não foi capaz de proporcionar uma polpa com valor médio final de 10 °C, que seria o ideal para o posterior armazenamento da manga em câmara fria (FILGUEIRAS, 2000).

As respostas das temperaturas de polpa em função das quatro diferentes posições horizontais da fruta estão mostradas nas Figuras 7 e 8.



**Figura 7-** Curvas de variações da temperatura de polpa para mangas das quatro diferentes posições horizontais com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. A reta em preto indica a temperatura ideal para o posterior armazenamento em câmara fria. Legenda: Fruta 1 (mais próxima do ar) → Fruta 4 (mais próxima da grade de sucção).



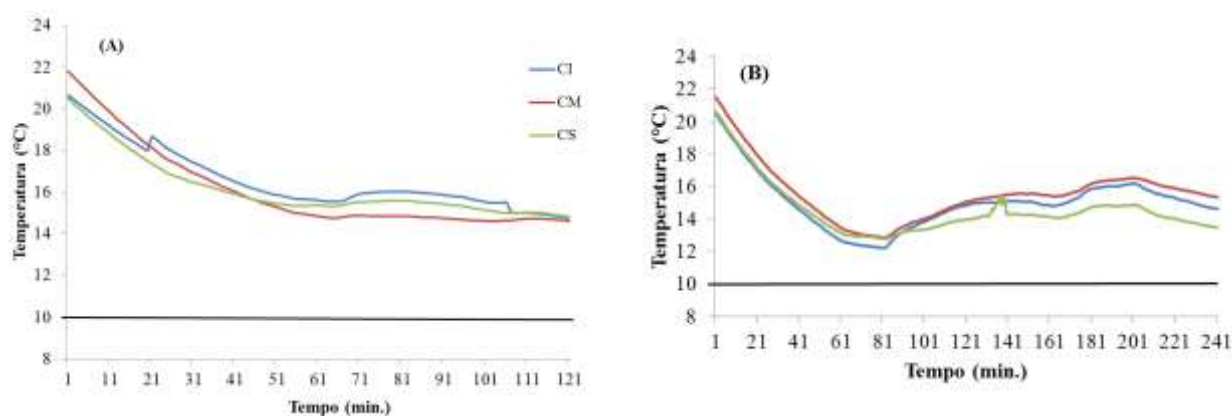
**Figura 8-** Comportamento estatístico da temperatura de polpa para mangas das quatro diferentes posições horizontais com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. Boxplots seguidos de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: Fruta 1 (mais próxima do ar) → Fruta 4 (mais próxima da grade de sucção).

A temperatura de polpa da fruta 1 foi a que apresentou maior sensibilidade às oscilações térmicas do ambiente quando comparada com as demais frutas, tenha sido com 120 minutos (Figuras 7A e 8A) ou com 240 minutos (Figuras 7B e 8B) de resfriamento rápido. A proximidade desta fruta com a abertura frontal da caixa (Figura 5), provavelmente fez com que tenha acumulado as mais elevadas variações de temperatura, e se diferenciado significativamente da subsequente fruta 2, em termos de valor médio apresentado, durante ambos os programas de resfriamento (DEFRAEYE et al., 2013).

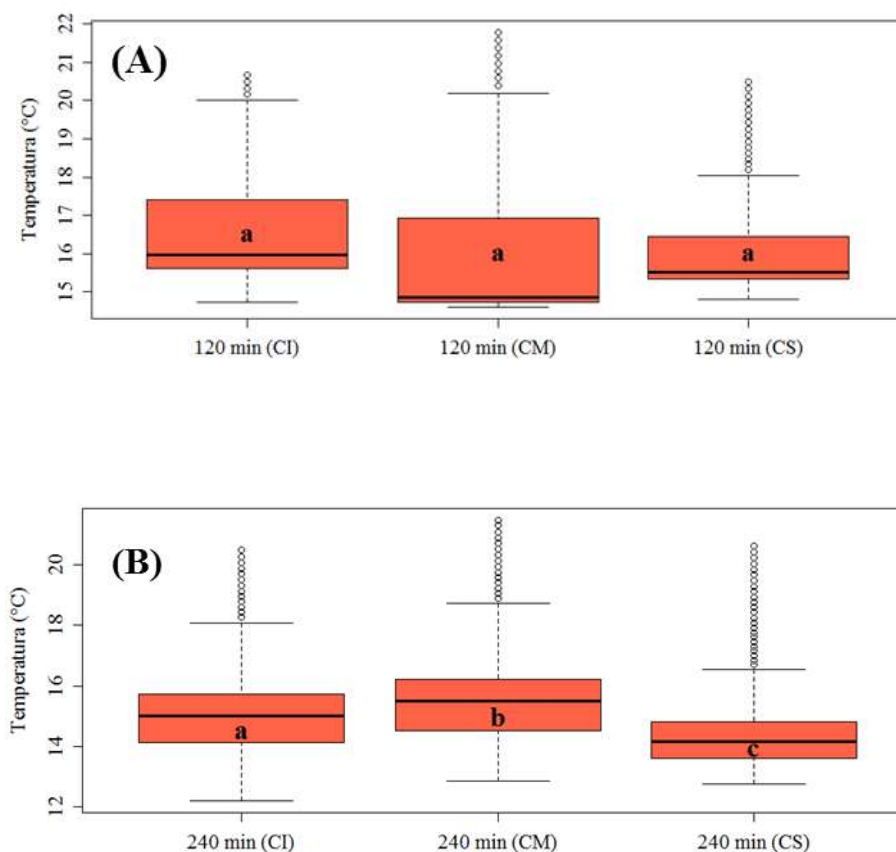
As diferenças significativas indicam que as polpas das frutas 1, 2 e 3 com 240 minutos de resfriamento desenvolveram distintos padrões convectivos e que estes padrões se tornaram mais homogêneos durante a transferência do fluxo de ar, da fruta 3

para a fruta 4 (Figura 8B), ainda que as variações estatísticas tenham se mostrado menores em relação ao que se observa para 120 minutos de resfriamento. Teruel et al. (2001) bem como Teruel, Cortez e Neves Filho (2003) em trabalhos sobre resfriamento de laranjas Valências e bananas pratas verificaram que as transferências de calor por ar forçado variavam com a posição dos frutos no leito das embalagens. Em estudo com resfriamento de frutas cítricas, Defraeye et al. (2013) confirmaram por meio de simulações CFD, que há presença de vias preferenciais por parte do ar em determinadas regiões de embalagens resfriadas, de forma que em linhas mais próximas a entrada de ar ocorriam maiores trocas convectivas.

As respostas das temperaturas de polpa em função das três camadas com frutas estão mostradas nas Figuras 9 e 10.



**Figura 9-** Curvas de variações da temperatura de polpa para mangas das três camadas com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. A reta em preto indica a temperatura ideal para o posterior armazenamento em câmara fria. Legenda: CI- camada inferior; CM- camada média; CS- camada superior.



**Figura 10-** Comportamento estatístico da temperatura de polpa para mangas das três camadas com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. Boxplots seguidos de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: CI- camada inferior; CM- camada média; CS- camada superior.

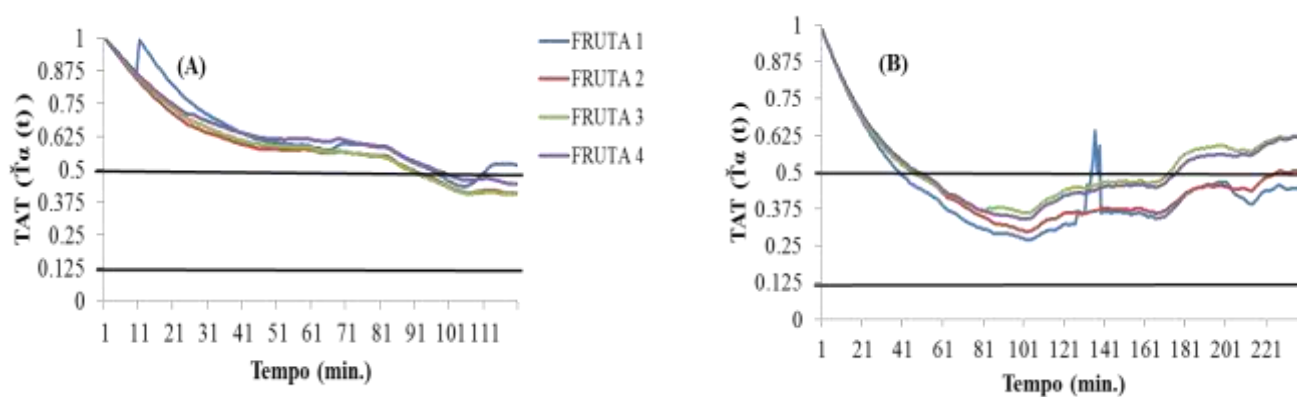
A reduzida altura do palete, associada ao programa de 120 minutos de resfriamento, pode ter influenciado para uma distribuição mais homogênea do ar refrigerado, e contribuído para a ausência de diferenças significativas entre os valores de temperatura de polpa apresentados, que indicam a falta de uma direção preferida do ar frente às frutas das três camadas (WU et. al, 2018) (Figuras 9A e 10A).

Com 240 minutos de resfriamento rápido, as acentuadas oscilações de temperatura sugerem que esse programa de exposição contribuiu para que as polpas das frutas de todas as camadas tenham estado mais fortemente sujeitas aos sensíveis e desiguais processos de transferência convectiva de calor (Figuras 9B) (ALVAREZ; TRYSTRAM, 1995).

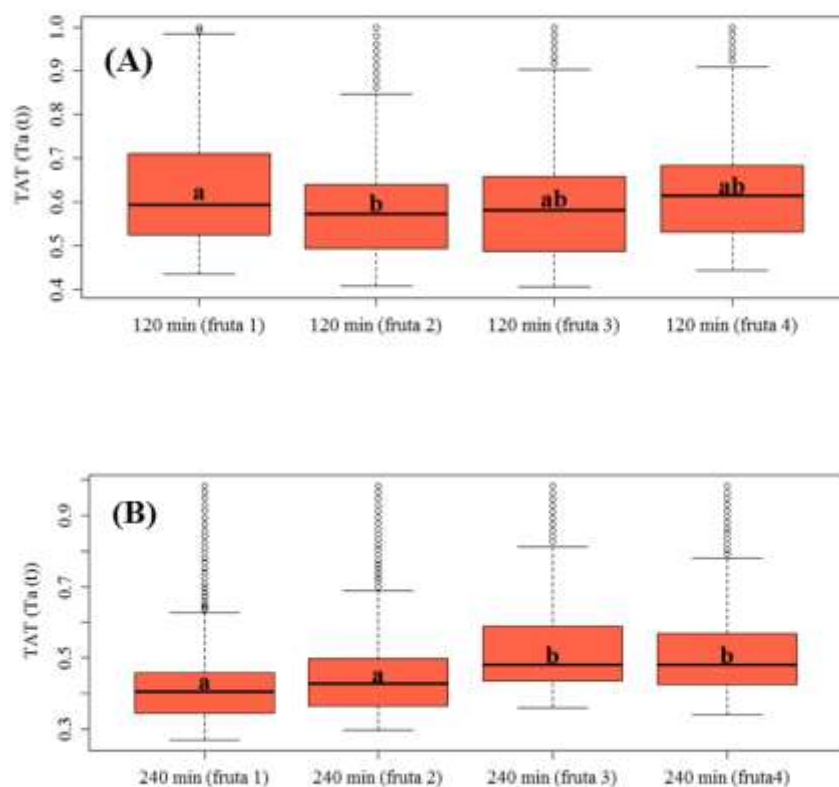
Sob este programa de resfriamento, ocorreram diferenças significativas entre as temperaturas apresentadas (Figura 10B), sendo que a polpa da fruta da CS foi a mais positivamente afetada pela associação da localização do produto com o direcionamento do fluxo de ar (FERRUA; SINGH, 2009; WU et al., 2019).

### 3.2 Modelagem teórica e experimental do resfriamento rápido

As Figuras 11 e 12 expõem os resultados da taxa adimensional de temperatura em função das quatro diferentes posições horizontais da fruta.



**Figura 11-** Curvas de variações das taxas de resfriamento rápido de polpa para mangas das quatro diferentes posições horizontais com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. As retas em preto indicam o tempo de meio resfriamento (0.5) e o tempo de sete-oitavos do resfriamento (0.125). Legenda: TAT: taxa adimensional de temperatura; Fruta 1 (mais próxima do ar) → Fruta 4 (mais próxima da grade de sucção).



**Figura 12-** Comportamento estatístico das taxas de resfriamento rápido de polpa para mangas das quatro diferentes posições horizontais com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. Boxplots seguidos de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: TAT: taxa adimensional de temperatura; Fruta 1 (mais próxima do ar) → Fruta 4 (mais próxima da grade de sucção).

Com 120 minutos de resfriamento rápido, a fruta 1 apresentou a TAT mais afetada pelas oscilações térmicas do ambiente, porém, conseguiu desenvolver satisfatórios padrões convectivos que possibilitou sua TAT cruzar o tempo de meio resfriamento quase que ao mesmo tempo que a TAT das demais frutas subsequentes, em torno de 90 minutos (Figura 11A). As Figuras 11A e 12A, mostram ser ainda a fruta 1, que no final do processo, apresentou a maior TAT, que acabou por ultrapassar o tempo de meio resfriamento.

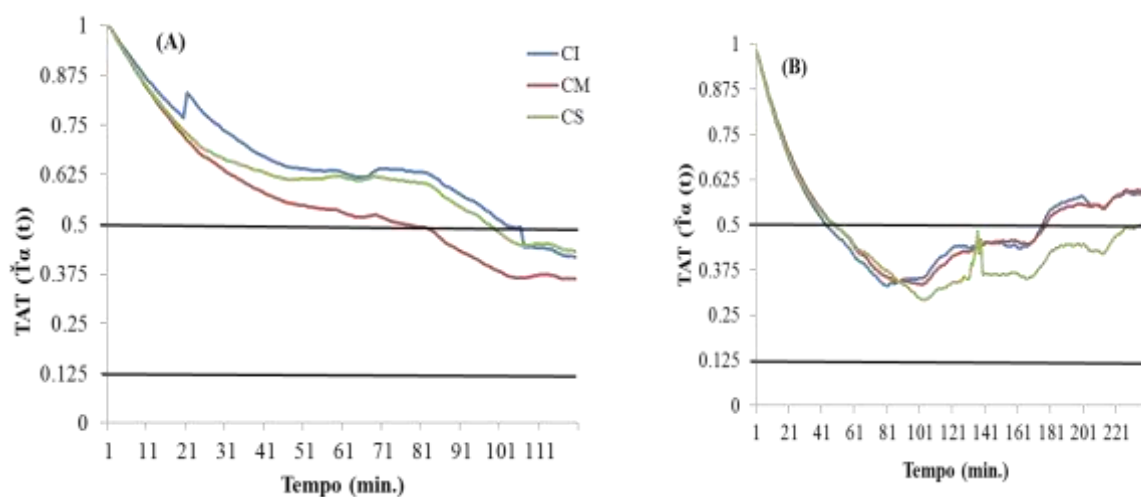
Com 240 minutos de resfriamento rápido, a TAT da fruta 1 cruzou o tempo de meio resfriamento em torno de 40 minutos após início do processo e a TAT das demais frutas depois de decorridos 50 minutos (Figura 11B). Todas as quatro frutas

desenvolveram padrões convectivos mais equilibrados e um tempo de meio resfriamento inferior ao anteriormente verificado para 120 minutos de resfriamento rápido.

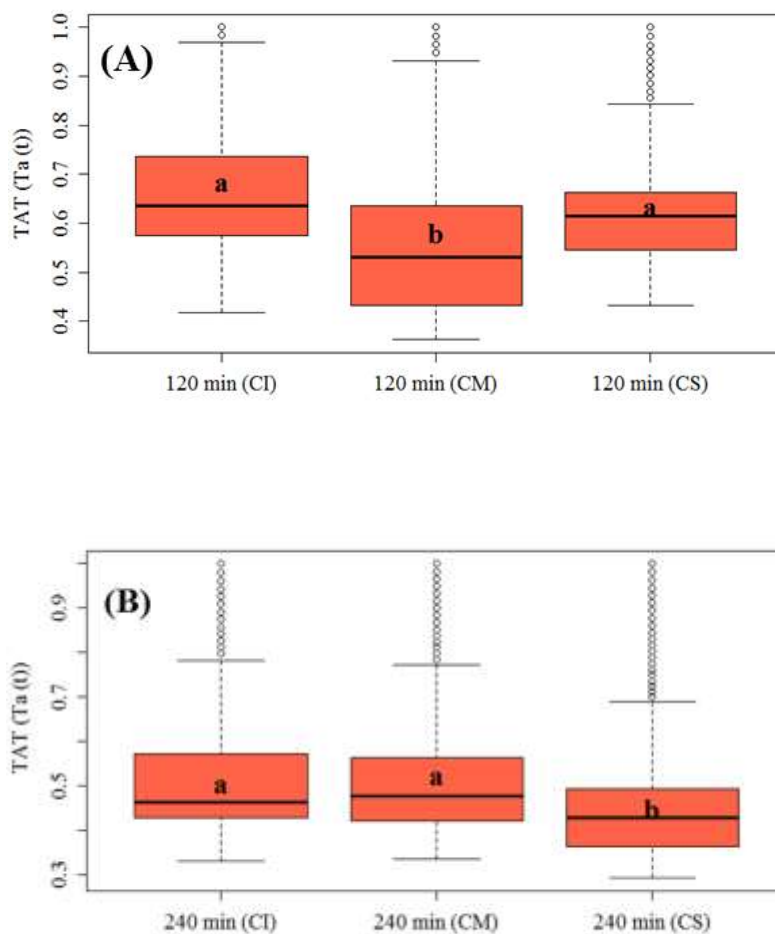
Após 120 minutos, quando o ambiente foi influenciado pelos incrementos térmicos advindos da abertura da câmara para retirada do primeiro palete, as frutas das posições 3 e 4 desenvolveram uma maior TAT, que acabou por gerar valores finais acima do tempo de meio resfriamento (Figura 11B). A Figura 12B, mostra também ter ocorrido diferenças significativas entre a TAT das frutas 1 e 2 e a TAT das frutas 3 e 4, fato que corrobora com o comportamento visto na Figura 11B.

A influência da abertura da câmara ao ar externo sobre o aumento das temperaturas adimensionais, devido entrada de temperatura mais elevada, está intimamente relacionada com variações nas propriedades térmicas de condução, calor específico e difusividade das frutas, que afetam diretamente o processo de resfriamento em diferentes posições (TERUEL; CORTEZ; NEVES FILHO, 2003; DUSSÁN-SARRIA; HONÓRIO, 2005).

Os resultados da TAT em função das três camadas com fruta estão dispostos nas Figuras 13 e 14.



**Figura 13-** Curvas de variações das taxas de resfriamento rápido de polpa para mangas das três camadas com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. As retas em preto indicam o tempo de meio resfriamento (0.5) e o tempo de sete-oitavos do resfriamento (0.125). Legenda: TAT: taxa adimensional de temperatura; CI- camada inferior; CM- camada média; CS- camada superior.



**Figura 14-** Comportamento estatístico das taxas de resfriamento rápido de polpa para mangas das três camadas com 120 (A) e 240 (B) minutos de resfriamento rápido. Boxplots seguidos de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: TAT: taxa adimensional de temperatura; CI- camada inferior; CM- camada média; CS- camada superior.

Com 120 minutos de resfriamento rápido, a fruta da CM desenvolveu os melhores padrões convectivos, o que pode ter contribuído para que sua TAT tenha cruzado o tempo de meio resfriamento em torno de 10 minutos antes que a TAT das frutas das demais camadas, e alcançado a menor TAT no final do processo (Figura 13A).



A Figura 14A confirma estatisticamente as diferenças significativas vistas na Figura 13A entre a TAT da fruta da CM e TAT das frutas das demais camadas, que parecem ter sido mais negativamente impactadas pelas variações térmicas do ambiente.

Com 240 minutos de resfriamento rápido, as TATs das frutas de todas as camadas cruzaram o tempo de meio resfriamento quase que simultaneamente em torno de 40 minutos (Figura 13B). Observa-se que as TATs das frutas com este programa apresentaram um tempo de meio resfriamento menor ao obtido para 120 minutos de resfriamento rápido (Figura 13A).

Após movimentação na câmara para retirada do palete com 120 minutos de resfriamento rápido, as diferenças significativas mostradas na Figura 14B passam a ser mais evidentes e indicam que a fruta da CS manteve seus padrões convectivos menos oscilantes e alcançou uma TAT abaixo do tempo de meio resfriamento.

Seja em função do programa de resfriamento rápido ou da localização da fruta no palete, as condições impostas ao processo mostraram-se não serem suficientes para que o tempo de sete-oitavos resfriamento fosse atingido.

A obtenção do tempo de sete-oitavos do resfriamento, ou seja, do tempo em que a temperatura de polpa da fruta se encontra ideal para o armazenamento em câmara fria, é vista como um dos grandes entraves do resfriamento rápido comercial, principalmente porque o processo de arrefecimento necessitaria de durações maiores que aquelas comumente adotadas para se alcançar tal condição (MERCIER; BRECHT; UYSAL, 2019).

Diferenças bastante significativas no tempo de sete-oitavos do resfriamento em função da distribuição do fluxo de ar, já foram relatadas por Wu e Defraeye (2017) em estudo com paletes completos de frutas. Segundo o estudo, alguns paletes apresentavam taxas de refrigerações até quatro vezes maiores que outros.

Os valores médios dos coeficientes de resfriamento, calculados em função do programa de resfriamento rápido e das diferentes localizações das frutas são dados na Tabela 1, com seus respectivos coeficientes de regressão.

**Tabela 1-** Coeficientes de resfriamento para mangas com diferentes programas de resfriamento rápido e distintas localizações no palete.

Programa de resfriamento rápido (min)	Localização da fruta no palete	$C_{exp}$ ( $min^{-1}$ )	$C_t$ ( $min^{-1}$ )	$R^2_t$	$R^2_{aj}$	Erro	
120	Fruta 1	0,0085	0,0045 <sup>1</sup>	0,64	0,63	1,09	
			0,0046 <sup>2</sup>	0,65	0,64	1,09	
			0,0096 <sup>3</sup>	0,96	0,95	0,38	
	Fruta 2	0,0108	0,0046 <sup>1</sup>	0,0046 <sup>2</sup>	0,67	0,66	0,93
				0,0115 <sup>3</sup>	0,67	0,66	0,93
				0,0048 <sup>1</sup>	0,99	0,99	0,12
	Fruta 3	0,0103	0,0049 <sup>2</sup>	0,0110 <sup>3</sup>	0,73	0,72	0,90
				0,0042 <sup>1</sup>	0,73	0,72	0,90
				0,0110 <sup>3</sup>	0,99	0,99	0,11
	Fruta 4	0,0093	0,0042 <sup>1</sup>	0,0042 <sup>2</sup>	0,71	0,71	0,81
				0,0100 <sup>3</sup>	0,71	0,70	0,82
				0,0042 <sup>1</sup>	0,99	0,99	0,13
	CI	0,0084	0,0042 <sup>2</sup>	0,0042 <sup>2</sup>	0,78	0,77	0,71
				0,0089 <sup>3</sup>	0,78	0,77	0,71
				0,0089 <sup>3</sup>	0,96	0,96	0,31
	CM	0,0115	0,0057 <sup>2</sup>	0,0057 <sup>2</sup>	0,72	0,72	1,06
				0,0121 <sup>3</sup>	0,72	0,71	1,06
				0,0121 <sup>3</sup>	0,99	0,99	0,11
	CS	0,0097	0,0040 <sup>1</sup>	0,0040 <sup>1</sup>	0,69	0,68	0,79
				0,0040 <sup>2</sup>	0,69	0,68	0,80
				0,0106 <sup>3</sup>	0,98	0,98	0,17
240	Fruta 1	0,0105	0,0017 <sup>1</sup>	0,10	0,09	1,55	
			0,0017 <sup>2</sup>	0,10	0,08	1,56	
			0,0128 <sup>3</sup>	0,74	0,73	0,84	
	Fruta 2	0,0097	0,0017 <sup>2</sup>	0,0017 <sup>1</sup>	0,13	0,13	1,53
				0,0114 <sup>3</sup>	0,13	0,12	1,53
				0,0114 <sup>3</sup>	0,88	0,88	0,57
	Fruta 3	0,0088	3,9559x10 <sup>-5-1</sup>	3,9559x10 <sup>-5-1</sup>	9,27x10 <sup>-5</sup>	-0,01	1,59
				3,9557x10 <sup>-5-2</sup>	9,27x10 <sup>-5</sup>	-0,02	1,61
				0,0105 <sup>3</sup>	0,86	0,85	0,61
	Fruta 4	0,0088	0,0003 <sup>1</sup>	0,0003 <sup>1</sup>	0,01	-0,01	1,66
				0,0003 <sup>2</sup>	0,01	-0,01	1,66
				0,0104 <sup>3</sup>	0,88	0,88	0,56
	CI	0,0092	0,0002 <sup>1</sup>	0,0002 <sup>1</sup>	2x10 <sup>-2</sup>	-0,01	1,62
				0,0002 <sup>2</sup>	2x10 <sup>-2</sup>	-0,01	1,63
				0,0110 <sup>3</sup>	0,81	0,81	0,71
	CM	0,0089	0,0005 <sup>1</sup>	0,0005 <sup>1</sup>	0,01	0,01	1,70
				0,0005 <sup>2</sup>	0,01	-0,01	1,71
				0,0105 <sup>3</sup>	0,87	0,86	0,63
	CS	0,0097	0,0019 <sup>1</sup>	0,0019 <sup>1</sup>	0,18	0,17	1,44
				0,0019 <sup>2</sup>	0,18	0,16	1,44
				0,0112 <sup>3</sup>	0,89	0,89	0,53

Fruta 1 (mais próxima do ar) → Fruta 4 (mais próxima da grade de sucção); CI-camada inferior; CM-camada média; CS-camada superior;  $C_{exp}$ = coeficiente experimental de resfriamento;  $C_t$ = coeficiente teórico de resfriamento;  $R^2_t$ = coeficiente de determinação teórico;  $R^2_{aj}$ = coeficiente de determinação teórico ajustado. <sup>1</sup>modelo linear ( $y= ax+b$ ); <sup>2</sup>modelo logarítmico ( $y= a + m*(x+(1/h)*\log((1+\exp(-h*(x-1)))/(1+\exp(1*h)))$ ); <sup>3</sup>modelo exponencial ( $y= a*\exp(-k*x)+b*x +c$ ).

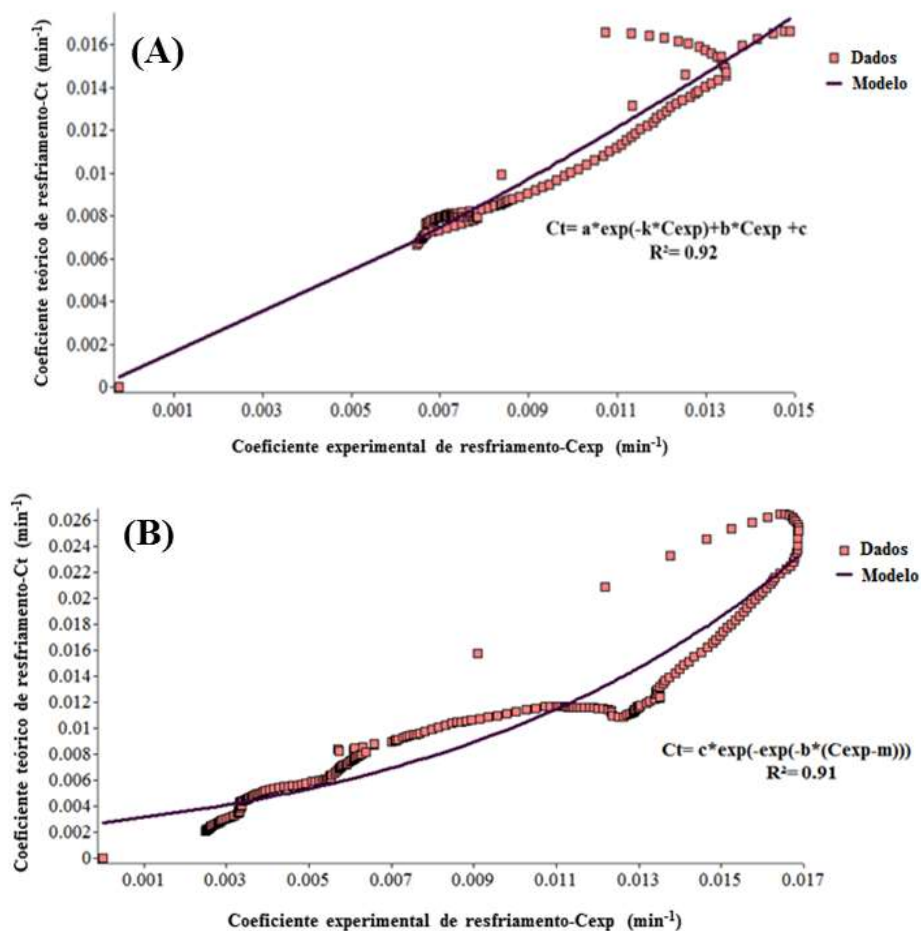
Dentre as diferentes localizações, o  $C_{exp}$  variou de 0,0084 a 0,0115  $min^{-1}$  para mangas com 120 minutos de resfriamento rápido e de 0,0088 a 0,0105  $min^{-1}$  para mangas com 240 minutos de resfriamento rápido. Para 120 minutos, os coeficientes de resfriamento das frutas 2 e 3 e da fruta da CM foram os mais altos. Para 240 minutos, o

coeficiente de resfriamento das frutas 3 e 4 e da fruta da CM foram os mais baixos (Tabela 1).

As frutas das posições e camadas extremas do palete, onde ocorrem os primeiros contatos dos intervenientes térmicos com o produto, desenvolveram uma maior resistência ao fluxo de ar frio durante 120 minutos de resfriamento rápido. Durante 240 minutos, no entanto, ocorreu o inverso. Frutas localizadas em posições de menor distância ao fluxo de ar e sob as camadas extremas do palete desenvolveram menores resistências ao resfriamento.

Em trabalho semelhante com resfriamento de diferentes cultivares de milho doce, Cortbaoui et al. (2006) constataram que produtos resfriados em posições perpendiculares ao fluxo de ar alcançaram taxas de resfriamento distintas que aqueles que foram resfriados em posições paralelas ao fluxo. Wu et al. (2019) ao investigar o comportamento do resfriamento de paletes com laranjas verificaram que caixas com frutas na camada superior foram mais rapidamente resfriadas, que aquelas de outras posições.

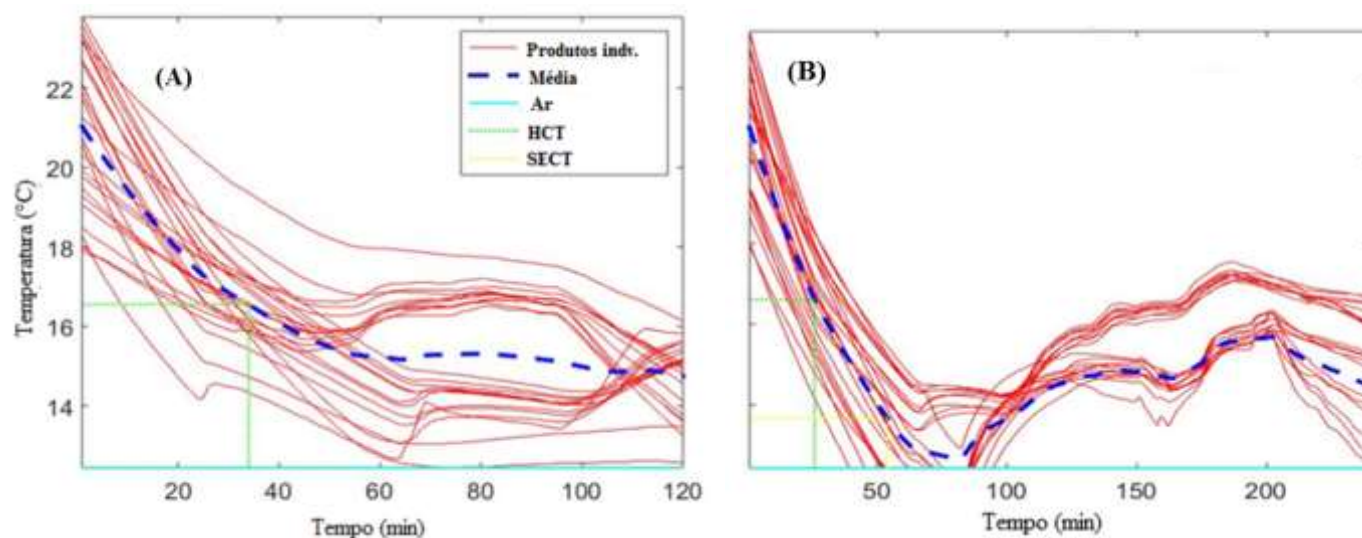
No geral, a manga apresentou um coeficiente experimental de resfriamento em torno de  $0,0097 \text{ min}^{-1}$  quando com 120 minutos de resfriamento rápido e de  $0,0089 \text{ min}^{-1}$  quando com 240 minutos de resfriamento rápido. Para os diferentes programas de resfriamento rápido e para as distintas localizações, os valores teóricos do coeficiente de resfriamento mostraram-se ser satisfatoriamente calculados por um modelo matemático exponencial. O excelente ajuste matemático dos coeficientes teóricos em função dos coeficientes experimentais pode indicar que a perda de calor seguiu uma tendência com formato exponencial (Figura 15).



**Figura 15-** Coeficiente teórico de resfriamento como uma função do coeficiente experimental de resfriamento, a partir de uma curva exponencial ajustada para 120 minutos (A) e 240 minutos (B) de resfriamento rápido.

O modelo ajustado pelos dados experimentais tem viabilidade para ser adequadamente utilizado em futuras previsões de taxas de resfriamento para a manga ‘Rosa’ dentro do sistema de resfriamento rápido estudado.

A Figura 16 apresenta as curvas experimentais de resfriamento bruto para cada uma das frutas de ambos os programas de resfriamento rápido.



**Figura 16-** Curva experimental de resfriamento bruto para mangas individuais com 120 minutos (A) e 240 minutos (B) de resfriamento rápido. Legenda: indiv.- individuais; HCT- tempo de meio resfriamento; SECT- tempo de sete-oitavos do resfriamento.

No início do processo, frutas com 120 minutos de resfriamento rápido (Figura 16A) apresentaram polpas com temperaturas individuais semelhantes. À medida que o resfriamento progrediu, a maior parte das temperaturas atingiu o tempo de meio resfriamento (HCT) em torno de 40 minutos. Em seguida, como consequência da ocorrência simultânea de frutas com temperaturas de polpas mais quentes e mais frias, taxas distintas de resfriamento passaram a surgir, sem em momento algum, atingir o tempo de sete-oitavos do resfriamento (SECT).

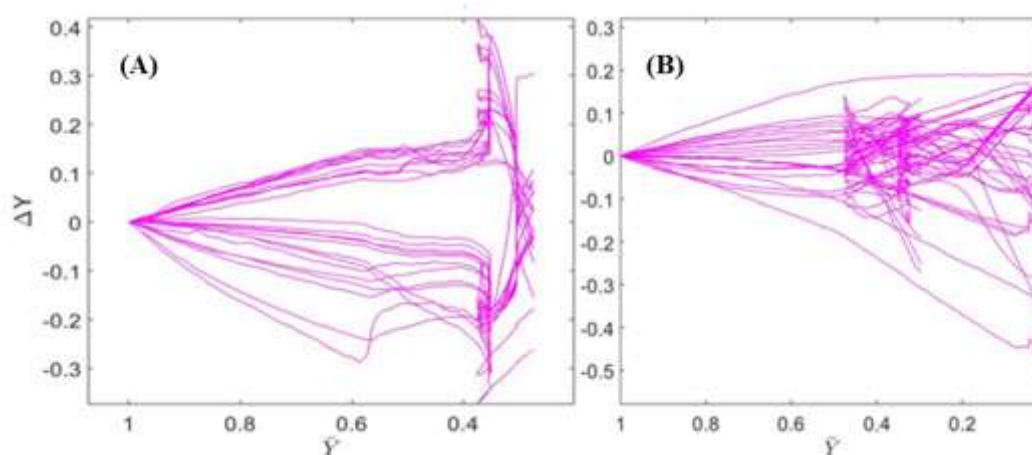
No início do processo, frutas com 240 minutos de resfriamento rápido (Figura 16B) também apresentaram polpas com temperaturas individuais semelhantes. No entanto, com este programa de resfriamento rápido, a maior parte das temperaturas atingiu o HCT após 25 minutos, e algumas conseguiram atingir o SECT em torno de 50 minutos, o que deve ter contribuído para tornar o processo ligeiramente heterogêneo a partir dos 100 minutos (Figura 16B).

Em estudo com maçãs, Han et al. (2017) identificaram que durante o resfriamento há uma maior existência de frutas com temperaturas mais frias do início até o HCT, e uma maior existência de frutas com temperaturas mais quentes entre o HCT e o SECT, revelando que a posição das várias embalagens em relação ao ar é decisiva para as taxas desenvolvidas e para a uniformidade do processo.

Comparando ainda o comportamento individual, visto na Figura 16, com o comportamento médio para diferentes posições e camadas do palete, visto nas Figuras

11 e 13 pode-se dizer que algumas frutas atingiram o tempo de meio resfriamento com o dobro de rapidez que a média geral de frutas resfriadas. Isso porque, enquanto que no geral, boa parte das frutas atingiu individualmente, o HCT em torno de 40 (Figura 16A) e 25 (Figura 16B) minutos, frutas de diferentes localizações, atingiram este HCT (0.5) em torno de 90 (Figuras 11A e 13A) e 40 (Figuras 11B e 13B) minutos.

O gráfico de heterogeneidade do processo mostra que os valores adimensionais de temperatura se distribuíram de forma assimétrica, durante ambos os programas de resfriamento rápido (Figura 17).



**Figura 17-** Heterogeneidade experimental do resfriamento para mangas individuais com 120 minutos (A) e 240 minutos (B) de resfriamento rápido.

Segundo Olatunji et al. (2017) distribuições assimétricas das temperaturas adimensionais podem ocorrer devido a fatores como diferentes tamanhos das frutas, acondicionamento em locais mais preferenciais à direção do fluxo de ar frio, e até mesmo por erros dos equipamentos de mensuração térmica.

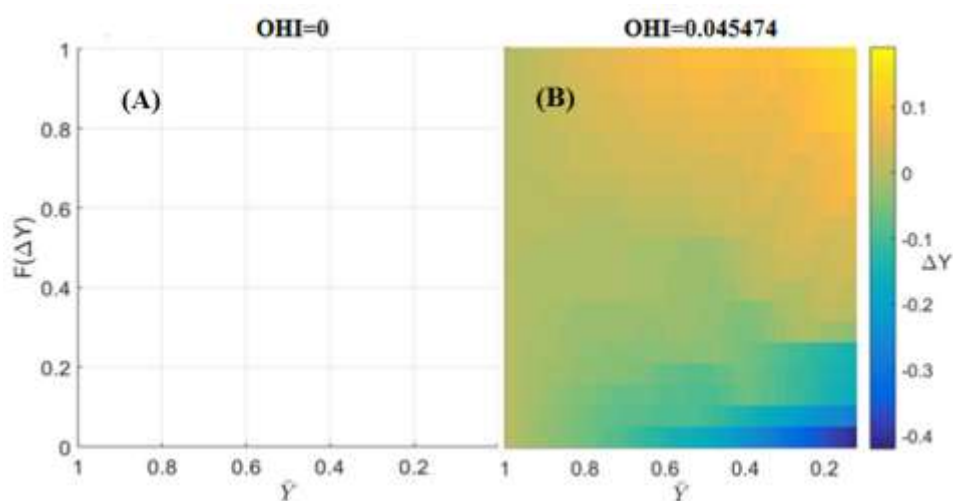
Para 120 minutos de resfriamento rápido, temperaturas adimensionais maiores ( $\Delta Y > 0$ ), com amplitudes mais estreitas de valores, foram enviesadas para acima da média, e temperaturas adimensionais menores ( $\Delta Y < 0$ ), com amplitudes mais largas de valores, foram enviesadas para abaixo da média, de forma levemente assimétrica até o ponto em que  $\bar{Y} = \text{HCT}$ . Após este ponto, parte das frutas avaliadas foi retirada com temperaturas adimensionais mais quentes que a média, e outra parte com temperaturas mais frias (Figura 17A).

Para 240 minutos de resfriamento rápido, houve uma distribuição mais uniforme de temperaturas adimensionais em torno da temperatura média até o ponto em que

$\bar{Y}=HCT$ . No entanto, deste ponto em diante, um acentuado nível de assimetria se desenvolveu, e uma maior quantidade de temperaturas adimensionais foi enviesada para abaixo da média, fazendo com que a maior parte das frutas tenha sido retirada com temperaturas mais frias (Figura 17B).

Níveis de assimetria ocorrem quando consideráveis quantidades de frutas tem seu processo de arrefecimento retardado ou acelerado, em consequência de estarem mais ou menos expostas ao fluxo de ar forçado (OLATUNJI et al., 2017).

Os mapas de heterogeneidade experimental para cada programa de resfriamento rápido são mostrados na Figura 18.

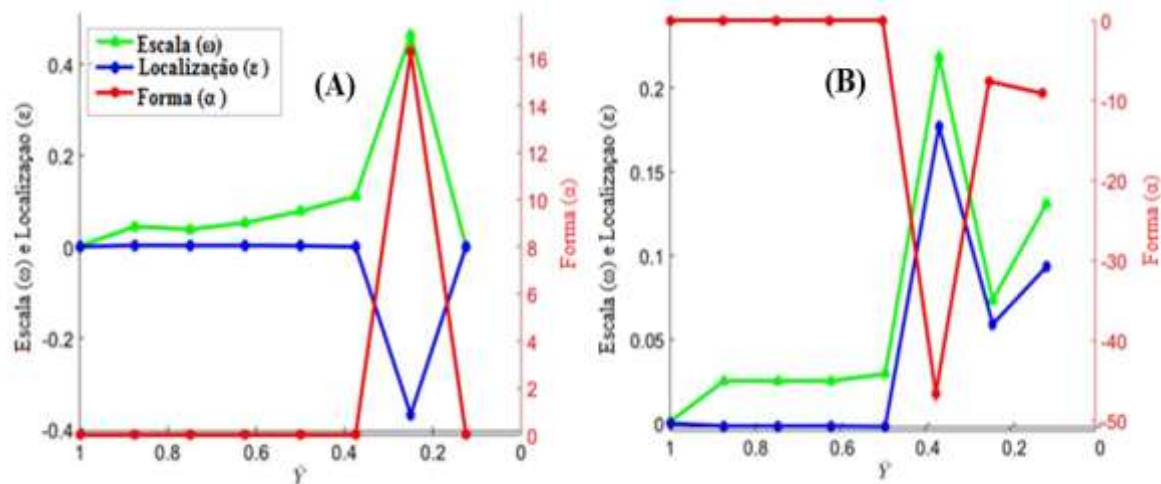


**Figura 18-** Mapa de heterogeneidade experimental do resfriamento para mangas com 120 minutos (A) e 240 minutos (B) de resfriamento rápido.

Com 120 minutos de resfriamento rápido, as temperaturas adimensionais não apresentaram valores capazes de contribuir efetivamente para o OHI. O valor encontrado (OHI= 0) sugere que 120 minutos foi insuficiente para gerar algum índice significativo de heterogeneidade entre as temperaturas de polpa das frutas ao longo do processo (Figura 18A).

Com 240 minutos de resfriamento rápido, as temperaturas adimensionais foram capazes de contribuir com um valor de OHI=0,045. Apesar de representar um baixo nível de heterogeneidade, o valor encontrado sugere que o maior tempo de exposição conseguiu gerar algum tipo de variabilidade entre as temperaturas de polpa (Figura 18B).

As distribuições enviesadas-normal vistas na Figura 19, confirmam ter ocorrido temperaturas uniformes entre as frutas durante o início do processo de resfriamento com ambos os programas, uma vez que todos os parâmetros quantitativos de desempenho apresentaram valores igual a 0 quando  $\bar{Y}=1$ .



**Figura 19-** Distribuições enviesada-normal em  $\bar{Y}= 1, 0.875, 0.75, 0.625, 0.5, 0.375, 0.25$  e  $0.125$  de parâmetros de forma, escala e localização para mangas com 120 minutos (A) e 240 minutos (B) de resfriamento rápido.

Com 120 minutos de resfriamento rápido, os parâmetros de forma ( $\alpha$ ) e localização ( $\epsilon$ ) mantiveram-se sob o valor 0 na maior parte dos intervalos de  $\bar{Y}$ , mostrando que as temperaturas continuaram uniformes, até atingir  $\bar{Y}= 0,375$ . A partir de  $\bar{Y}=0,375$ , significativas variabilidades ocasionaram o surgimento de uma maior proporção de polpas com temperaturas mais quentes ( $\alpha=16$ ;  $\omega=0,5$ ) que à media ( $\epsilon=-0,39$ ). No final do processo, as temperaturas voltaram à uniformidade (Figura 19A).

Com 240 minutos de resfriamento rápido, os parâmetros de forma ( $\alpha$ ) e localização ( $\epsilon$ ) mantiveram-se sob o valor 0 até atingir  $\bar{Y}=\text{HCT}$ . A partir do HCT, as variabilidades ocasionaram o surgimento misto de polpas com temperaturas mais frias ( $\alpha=-48$ ) e de polpas com temperaturas mais quentes ( $\omega=0,25$ ) que a média ( $\epsilon=0,18$ ). No final do processo, as temperaturas apresentaram-se menos uniformes ( $\alpha=-10$ ;  $\omega=0,13$ ;  $\epsilon=0,1$ ) (Figura 19B).

#### 4. Conclusões



Não ocorreram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as temperaturas finais de polpa para mangas submetidas ao programa de 120 minutos ou 240 minutos de resfriamento rápido.

Nenhum dos dois programas horários de resfriamento foi capaz de possibilitar temperaturas adimensionais de polpa que atendem ao tempo de sete-oitavos do resfriamento, recomendado ao armazenamento em câmara fria e não proporcionaram temperaturas homogêneas entre as frutas.

As informações geradas podem auxiliar para um manejo mais otimizado do sistema comercial de refrigeração e indicar que a adoção padrão de 120 minutos de resfriamento seria a mais viável para agregar eficiência energética ao sistema, que passaria a ser menos exigido pelo ambiente.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

### **Referências**

ALVAREZ, G.; TRYSTRAM, G. Design of a new strategy for the control of the refrigeration process: fruit and vegetables conditioned in a pallet. **Food Control**, v. 6, n. 6, p. 347-355, 1995.

BERRY, T., et al. The role of horticultural carton vent hole design on cooling efficiency and compression strength: A multi-parameter approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 124, p. 62-74, 2017.

BROSNAN, T.; SUN, D. W. Precooling techniques and applications for horticultural products- a review. **International Journal of Refrigeration**, France, v.24, p.154-170, 2001.

CENCI, S.A. **Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar**. In: Fenelon do Nascimento Neto. (Org.) **Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar**. 1ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.67- 80, 2006.

CORTBAOUI, P. et al. Forced air cooling system for Zea mays. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 4, p. 100–104, 2006.

DEFRAEYE, T. et al. Forced-convective cooling of citrus fruit: Package design. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 1, p. 8-18, 2013.

DEFRAEYE, T. et al. Forced-convective cooling of citrus fruit: Cooling conditions and energy consumption in relation to package design. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 118–127, 2014.

DELELE, M. A. et al. Combined discrete element and CFD modeling of airflow through random stacking of horticultural products in vented boxes. **Journal of Food Engineering**, v. 89, p. 33-41, 2008.

DUSSÁN-SARRIA, S.; HONÓRIO, S. L. Precooling parameters for figs (*Ficus carica* L.) cv. Roxo de Valinhos packed in carton box for exportation. **Revista Científica UDO Agrícola**, v. 5, n. 1, p. 96-102, 2005.

ELANSARI, A. M.; MOSTAFA, Y. S. Vertical forced air pre-cooling of orange fruits on bin: Effect of fruit size, air direction, and air velocity. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2018.

FERRUA, M. J.; SINGH, R. P. Modeling the forced-air cooling process of fresh strawberry packages, Part I: Numerical model. **International Journal of Refrigeration**, v. 32, n. 2, p. 335 – 348, 2009.

FILGUEIRAS, H. A. C. **Manga Pós-Colheita**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 2000.

HAN, J. et al. Computational modeling of airflow and heat transfer in a vent box during cooling: Optimal package design. **Applied Thermal Engineering**, v. 91, p. 883–893, 2015.

HAN, J.-W. Mathematical modelling of cooling efficiency of ventilated packaging: Integral performance evaluation. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 111, p. 386–397, 2017.

KRISHNAMURTHY, S.; RAO, D. V. S. Status of post harvest management of fruits. **Indian Journal Hort.**, v. 58, n.1-2, p.152, 1987. 2001.

KUMAR, R.; KUMAR, A.; MURTHY, U. Heat transfer during forced air precooling of perishable food products. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 2, p. 228-233, 2008.

MERCIER, S.; BRECHT, J. K.; UYSAL, I. Commercial forced-air precooling of strawberries: A temperature distribution and correlation study. **Journal of Food Engineering**, v. 242, p. 47–54, 2019.

OLATUNJI, J. R. et al. Quantifying and visualising variation in batch operations: A new heterogeneity index. **Journal of Food Engineering**, v. 196, p. 81-93, 2017.

O’SULLIVAN, J. **Significant Factors Affecting the Forced-Air Cooling Process of Polylined Horticultural Produce (Ph.D. thesis)**. Massey University. 2016.

RAO, C.G. **Engineering for Storage of Fruits and Vegetables**. Academic Press. SAS Institute, Inc., 2007. SAS Technical Report AS/STAT Software: Changes and

Enhancements User's Guide, Volume 2, Version 9.1.3. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 2015.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and practices**. Florida: CRC Press, 2012. 733p.

SESTARI, I.; KLUG, R. A. **Métodos empregados no resfriamento rápido de frutas hortaliças**. Serie produtor rural –Nº 40 – Universidade de São Paulo. Escola superior de agricultura “Luís de Queiroz” – ESALQ, Piracicaba. 2008.

SIQUEIRA, A. A. et al. MicroFit: a free software for the development and fit of mathematical models for bacterial growth. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 329-339, 2014.

TAGLIAVINI, G.; DEFRAEYE, T.; CARMELIET, J. Multiphysics modeling of convective cooling of non-spherical, multi-material fruit to unveil its quality evolution throughout the cold chain. **Food and Bioproducts Processing**, v. 117, p. 310-320, 2019.

TERUEL, B. J. M. et al. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 21, n.2, p. 228-235, 2001.

TERUEL, B.; CORTEZ, L.; NEVES FILHO, L.. Estudo comparativo do resfriamento de laranja valência com ar forçado e com água. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 174-178, 2003.

TERUEL, B. J. M. Tecnologias de resfriamento de frutas e hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.14, n.2, p.199-220, 2008.

ZHAO, J. M.; BRONLUND J. E.; EAST A. R. **Effect of cooling rates on kiwifruit firmness and rot incidence in subsequent storage**. Proceedings of the 5th Postharvest Unlimited Conference, Cyprus, p. 313-318, 2014.

WU, W.; DEFRAEYE, T. Identifying heterogeneities in cooling and quality evolution for a pallet of packed fresh fruit by using virtual cold chains. **Applied Thermal Engineering**, v.133, p. 407–417, 2017.

WU, W. et al. Full-scale experiments in forced-air precoolers for citrus fruit: Impact of packaging design and fruit size on cooling rate and heterogeneity. **Biosystems engineering**, v. 169, p.115-125, 2018.

WU, W. et al. Unveiling how ventilated packaging design and cold chain scenarios affect the cooling kinetics and fruit quality for each single citrus fruit in an entire pallet. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, 100369, 2019.

#### 4. ARTIGO II: Influência de programas comerciais de refrigeração de manga ‘Rosa’ sobre a qualidade da fruta

##### Resumo

A qualidade da manga é fortemente afetada por condições de temperatura e umidade do ambiente, o que faz a cadeia de produção ser dependente de técnicas de resfriamento para manter propriedades comercialmente desejáveis na fruta. O objetivo deste estudo foi verificar a influência de programas comerciais de refrigeração sobre a qualidade de manga ‘Rosa’. Um total de 48 mangas com calibre 9 e estágios 4 e 5 de maturação foram proporcionalmente distribuídas em três camadas de cada um de seis paletes e submetidas a diferentes tratamentos pós-colheita constituídos por programas de 120 e 240 minutos de resfriamento rápido, seguidos de 7 e 14 dias em câmara fria e mais três dias prateleira a 20 °C. Todas as frutas foram analisadas quanto a parâmetros físico-químicos de qualidade. Não houve diferenças significativas entre os parâmetros físico-químicos após cada tratamento pós-colheita. Somente a perda de peso entre os tratamentos variou de 0 a valores próximos de 4 e 5%, após três dias de prateleira. Frutas da camada média com 240 minutos de resfriamento rápido e 14 dias de câmara fria, apresentaram a maior perda de peso (2,31%) enquanto que frutas da camada superior com 14 dias de câmara fria apresentaram a menor perda de peso (1,44%). A localização da fruta no palete afetou significativamente a perda de peso. Estes resultados podem ser importantes para auxiliar no processo das escolhas mais adequadas de programas de refrigeração pós-colheita.

**Palavras-chave:** Armazenamento a frio. Conservação pós-colheita. Parâmetros físico-químicos.

##### 1. Introdução

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta de alta relevância econômica, cultivada de forma expressiva em regiões tropicais, a exemplo do Brasil, que produz diversas variedades ao longo do seu território. O país é atualmente o sétimo maior produtor da fruta, e tem a região do Vale do São Francisco, entre os Estados da Bahia e Pernambuco, como seu principal polo exportador, que é responsável por mais de 60% da produção nacional (FAOSTAT, 2017; CEPEA, 2019).

A grande valorização da fruta dentro de diferentes mercados consumidores ocorre em função de características qualitativas desejáveis. Porém, em decorrência do produto ser fisiologicamente climatérico, a qualidade é altamente afetada por estados de temperatura e umidade do ar no ambiente de armazenamento (WAELTI, 2010; CASTELLANOS; HERRERA, 2015; DE MELLO VASCONCELOS et al., 2019).

Visando desacelerar o processo de amadurecimento, resultante de intensas atividades respiratórias que dificultam o manejo pós-colheita, e manter a qualidade exigida ao consumo, o uso de diferentes mecanismos de resfriamento, seja por ar forçado (TERUEL, 2008; LI et al., 2018) por água (SILVA; FINGER; CORRÊA, 2008; NETO, 2012) ou a vácuo (FENNEMA; DAMODARAN; PARQUIM, 2010), por exemplo, têm sido adotado na cadeia de produção da fruta (AWOLE; KEBEDE; WORKNEH, 2011; TIGIST; WORKNEH; WOLDETSADIK, 2011; WORKNEH; OSTHOFF; STEYN, 2011; CARVALHO, 2013; CASTELLANOS; HERRERA, 2015; COSME SILVA et al., 2017; GIOVANNONI et al., 2017; HAN et al., 2017).

Para conservação da manga, técnicas de resfriamento rápido e de armazenamento a frio necessitam ser controladas para assegurar temperatura não menor que 10 °C e não maior que 13 °C de acordo com o estágio de maturação predominante (ZAHARAH; SINGH, 2011; ZHANG et al., 2012; CASTELLANOS; HERRERA, 2015; DE MELLO VASCONCELOS et al., 2019).

Variações nas temperaturas do ambiente, escolhas por determinados programas horários de arrefecimento, e diferentes condições de armazenamento desempenham forte influência para a qualidade da fruta, a partir de alterações em parâmetros físico-químicos de elevada importância comercial (SAFTNER et al., 2008; ZHANG et al., 2010; EKRAMI-RAD; KHAZAEI; KHOSHTAGHAZA, 2011; FAWOLE; OPARA, 2013; OSORIO; FERNIE, 2013; PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013; ARENDSE; FAWOLE; OPARA, 2014; LOBOS; CALLOW; HANCOCK, 2014; BIANCHI et al., 2016; FARINA et al., 2017).

Lim et al. (2007) afirmam que temperaturas inadequadas durante o armazenamento pós-colheita se correlacionaram diretamente com o aumento de distúrbios fisiológicos, aumento de respiração e alterações na integridade das membranas celulares das frutas. Mansouri, Khazaei e Hassan-Beygy (2011) verificaram diminuição da firmeza em frutas de romã armazenadas sob temperatura de 5 °C, após determinados dias de colheita. Noiwan et al. (2017) mostraram que mangas conservadas sob 34 °C apresentaram taxas de amolecimento e perdas de peso drasticamente maiores em comparação com mangas conservadas sob 27, 20 e 13 °C. Ao estudar as condições de uma instalação de beneficiamento de uvas no Vale do São Francisco, Vasconcelos et al. (2018) também verificaram que o uso da refrigeração pode melhorar a qualidade das frutas.

Perdas econômicas associadas a mudanças diversas na qualidade da fruta dentro da cadeia do frio podem ser inúmeras e de alto impacto para produtores e agentes intermediários do setor agrícola. Muitas pesquisas abordam a problemática, mas algumas vezes, somente em escala laboratorial. Em esfera comercial, a coleta de dados pode gerar subsídios para se entender a relação das características de qualidade com o armazenamento a frio. A disposição de informações pode ser valiosa na busca por otimização do manejo pós-colheita, e conseqüente redução de problemas com a qualidade da fruta (AZENE; WORKNEH; WOLDETSADIK, 2011).

Portanto, este estudo teve por objetivo, verificar a influência de diferentes programas comerciais de refrigeração sobre a qualidade de mangas ‘Rosa’.

## 2. Materiais e métodos

Frutas de mangas (*Mangifera indica* L.) ‘Rosa’ colhidas e armazenadas em uma fazenda comercial da região do Vale do Submédio São Francisco (Brasil: 9° 23’ 39” S, 40° 30’ 35” W) foram utilizadas no experimento. Um total de 48 frutas com calibre 9 e estágios 4 e 5 de maturação foram proporcionalmente distribuídas em doze embalagens de papelão com parede dupla e capacidade de 4 kg ao longo de uma camada inferior, de uma camada média e de uma camada superior em cada um de seis paletes verticais com dimensões 1,14 x 1,08 x 1,20 m.

Os paletes foram submetidos a diferentes programas de refrigeração. Em três distintos dias, um palete foi acondicionado por 120 minutos e outro por 240 minutos em uma câmara de resfriamento rápido (3,35 x 5,71 x 3 m), constituída por dois arrefecedores não sincronizados de classe industrial com fluxo de ar forçado unidirecional de 2,7 m.s<sup>-1</sup>.

Após ambos os programas de resfriamento rápido, os dois paletes foram conduzidos ao armazenamento por 7 e 14 dias em câmara fria (4,48 x 5,71 x 3 m), composta por compressor de 5,5 hp, e intervalo de temperatura entre 5 °C e 7 °C com *setpoint* em 6°C.

O monitoramento da temperatura e da umidade das câmaras foi realizado por quatro sensores *data loggers* Hobo<sup>®</sup> U12 Temp/RH/2 *External* (Onset Computer Corporation, Massachusetts, EUA), com precisão de ±0,35°C. Todos os dados foram registrados com amostragem de um minuto.

O experimento foi organizado em blocos com um fatorial 2 x 2 x 3 (programas de resfriamento rápido x programas de armazenamento em câmara fria x camadas do palete):

- Tratamento 120 min. + 7 dias - 24 frutas (8 em cada camada do palete) submetidas a 120 minutos de resfriamento rápido e 7 dias de câmara fria;
- Tratamento 120 min. + 14 dias - 24 frutas (8 em cada camada do palete) submetidas a 120 minutos de resfriamento rápido e 14 dias de câmara fria;
- Tratamento 240 min. + 7 dias - 24 frutas (8 em cada camada do palete) em cada camada do palete submetidas a 240 minutos de resfriamento rápido e 7 dias de câmara fria;
- Tratamento 240 min. + 14 dias - 24 frutas (8 em cada camada do palete) submetidas a 240 minutos de resfriamento rápido e 14 dias de câmara fria.

Avaliações de parâmetros físico-químicos de qualidade foram realizadas. Dentre as 24 frutas de cada tratamento pós-colheita, 12 foram avaliadas ao sair do processo e outras 12, após três dias de prateleira à temperatura de 20 °C.

## 2.1 Parâmetros físico-químicos de qualidade

### 2.1.1 Perda de peso

A perda de peso foi determinada pela pesagem das frutas em balança semi-analítica (Marte AS 1000 C, São Paulo) de precisão  $\pm 0,01$ g, antes (peso inicial) e depois (peso final) de cada tratamento pós-colheita (equação 3).

$$PP (\%) = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad (3)$$

Onde PP representa a perda de peso em porcentagem, Pi o peso inicial da fruta, e Pf o peso final da fruta.

### 2.1.2 Firmeza da polpa

A firmeza da polpa foi determinada por meio de um penetrômetro manual (modelo FT 327, Wagner *Instruments*®) composto por uma sonda de aço inoxidável de 6 mm de diâmetro. As medidas foram realizadas em dois pontos opostos na região equatorial das mangas e os resultados expressos em Newton (N).

### 2.1.3 Matéria seca

O teor de matéria seca foi determinado pela diferença entre o peso de uma amostra de fruta quando úmida e o peso da mesma amostra quando seca em estufa, sob temperatura de 65 °C (AOAC, 2016) até um peso constante (equação 4).

$$MS (\%) = \frac{Pf}{Pi} \times 100 \quad (4)$$

Onde MS representa a matéria seca em porcentagem, Pf o peso final da amostra, e Pi o peso inicial da amostra.

### 2.1.4 Sólidos solúveis totais

Os teores de sólidos solúveis totais foram determinados por meio de um refratômetro portátil digital Pal-1 (Atago, São Paulo, Brasil) com precisão de  $\pm 0,2\%$ . As medidas foram realizadas com aproximadamente 1 mL de suco da fruta e os resultados expressos em porcentagem (%) de sólidos solúveis no suco.

Em cada dia de montagem experimental, uma análise inicial de parâmetros físico-químicos foi realizada em 12 frutas recém-colhidas (Tabela 2).

**Tabela 2-** Parâmetros físico-químicos de qualidade das mangas ‘Rosa’ recém-colhidas.

PP (%)	FP (N)	MS (%)	SST (%)
0	21,66 $\pm$ 2,15	20,23 $\pm$ 0,52	14,20 $\pm$ 1,03

Médias seguidas de  $\pm$  desvio padrão. Legenda: PP - perda de peso; FP - firmeza da polpa; MS - matéria seca; SST - sólidos solúveis totais.

## 2.2 Análise estatística dos dados

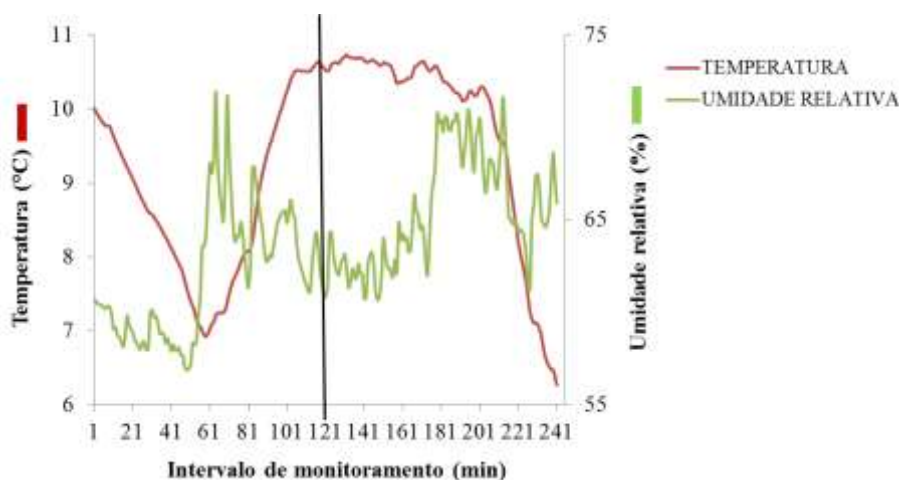


O software livre R 2.11.1 (R Development Core Team, Berlim, Alemanha) foi utilizado para realização da análise de variância (ANOVA). O teste de significância de Tukey foi aplicado para comparar os resultados considerando um p-valor crítico de 0,05.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Comportamento térmico dos ambientes refrigerados

No início do armazenamento, a câmara de resfriamento rápido apresentou temperatura média de 10 °C e umidade relativa de 61%. Após 60 minutos, passou por acentuadas variações que resultaram em temperatura momentânea de 7 °C e umidade relativa de 67%. Entre o período de 60 até 120 minutos, a temperatura retornou a um valor próximo do inicial (10 °C), devido a um provável incremento térmico, mas a umidade relativa não foi substancialmente impactada (Figura 20).

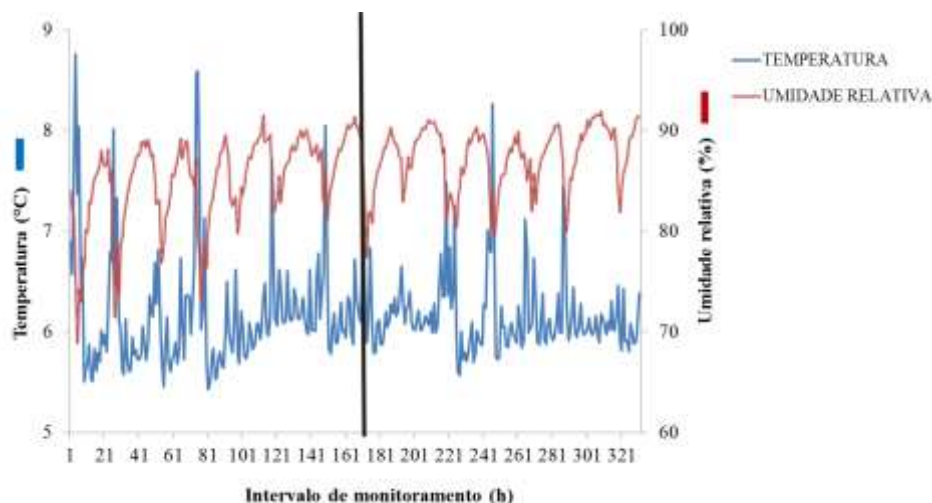


**Figura 20-** Comportamento das variáveis temperatura e umidade relativa na câmara de resfriamento rápido durante 240 minutos de arrefecimento. A reta vertical em preto representa o momento de retirada do palete com mangas expostas ao programa de 120 minutos de arrefecimento.

A boa estabilidade nos valores de temperatura (~10 °C) sugere uma alta capacidade de recomposição do sistema de arrefecimento frente a possíveis oscilações térmicas no ambiente. Porém, os valores de umidade relativa, que não ultrapassaram valor médio de 70%, são inadequados para o resfriamento de mangas, podendo

contribuir para deterioração da qualidade, visto que para amenizar perdas de água pela fruta, a câmara deveria assegurar umidades em torno de 85 e 95% (ASSIS; LIMA, 2005; VASCONCELOS, 2018).

A temperatura da câmara fria se situou em torno de 6 °C e a umidade relativa em torno de 90% na maior parte dos 14 dias em que as mangas estiveram armazenadas (Figura 21).



**Figura 21-** Comportamento das variáveis temperatura e umidade relativa na câmara fria durante o programa de 7 dias (168h) e 14 dias (336h) de armazenamento. A reta vertical em preto representa o momento de retirada das frutas expostas ao programa de 7 dias de armazenamento.

Oscilações térmicas ocasionadas por movimentações de origem externa, que em alguns momentos resultaram em valores de temperatura próximos de 9 °C e umidade em torno de 70%, parecem não ter impedido que a câmara fria executasse sua função de proporcionar a conservação metabólica da fruta, tendo em vista que os valores médios registrados, atendem ao intervalo de 5 a 9 °C de temperatura e de 90% de umidade, indicados como adequados ao resfriamento lento por Paull e Chen (2004) para mangas em estágios mais avançados de maturação e menos suscetíveis a injúrias pelo frio.

### 3.2 Parâmetros físico-químicos de qualidade

Não houve diferenças significativas entre os parâmetros físico-químicos de cada tratamento pós-colheita (Tabela 3).

**Tabela 3-** Parâmetros físico-químicos de qualidade das mangas ‘Rosa’ após tratamentos pós-colheita.

PR (min.)	PA (dias)	PP (%)	FP (N)	MS (%)	SST (%)
120	7	1,75 ± 0,25 Aa*	13,27 ± 2,52 Aa	19,25 ± 0,92 Aa	14,07 ± 1,06 Aa
	14	2,01 ± 0,09 Aa	12,00 ± 2,33 Aa	18,79 ± 0,77 Aa	14,30 ± 1,40 Aa
240	7	1,71 ± 0,34 Aa	16,05 ± 2,51 Aa	19,30 ± 0,26 Aa	13,51 ± 1,80 Aa
	14	2,62 ± 0,73 Aa	12,76 ± 2,17 Aa	18,43 ± 0,30 Aa	14,82 ± 1,34 Aa
CV (%)		28,58	25,85	3,90	11,74

\*Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (0,05). Médias seguidas de ± desvio padrão; Legenda: PR - programas de resfriamento rápido; PA - programas de armazenamento em câmara fria; PP - perda de peso; FP - firmeza da polpa; MS - matéria seca; SST - sólidos solúveis totais; CV - coeficiente de variação dos parâmetros avaliados.

Somente a perda de peso da análise inicial (PP=0) (Tabela 2) se diferenciou dos tratamentos pós-colheita devido a um esperado aumento deste parâmetro em função das condições de umidade da câmara de resfriamento rápido (Figura 20). Apesar deste esperado aumento, a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos pós-colheita pode enfatizar que, no geral, a combinação das condições impostas pelos ambientes refrigerados foi capaz de manter perdas de peso em níveis equilibrados.

A diminuição no peso ocasionada pela perda de água é sempre contínua e independente do uso de resfriamento durante o armazenamento. Temperaturas e umidades relativas quando corretamente impostas, influenciam na desaceleração do processo metabólico de saída de água das frutas (BHARDWAJ; SEN, 2003; NUNES; EMOND; BRECHT, 2006; HOA; DUCAMP, 2008; OPARA et al., 2008; ZHU et al., 2008; CHIUMARELLI et al., 2011; AZENE; WORKNEH; WOLDETSADIK, 2011; WIJEWARDANE; GULERIA, 2013).

Investigações sobre os impactos de temperaturas e umidades de armazenamento para a perda de peso por mangas de variedades Dashehri, Keitt, Langra e Samar Bahisht Chaunsa já constataram que o arrefecimento associado a determinados limites de armazenamento com temperaturas mais baixas e umidades mais altas, contribui diretamente para acentuadas reduções de transferência de água da fruta para o ambiente, o que na prática é essencial à conservação das condições adequadas de comercialização (AZENE; WORKNEH; WOLDETSADIK, 2011; BALOCH; BIBI, 2012; GUPTA; JAIN, 2012; HAILU, 2016).

Após três dias de prateleira à temperatura de 20 °C, não houve diferenças significativas nos valores médios dos parâmetros físicos entre os tratamentos pós-colheita (Tabela 4).

**Tabela 4-** Parâmetros físico-químicos de qualidade das mangas ‘Rosa’ de cada tratamento pós- colheita após três dias de prateleira a 20 °C.

PR (min.)	PA (dias)	PP (%)	FP (N)	MS (%)	SST (%)
120	7	4,62 ± 0,39 Aa*	18,80 ± 4,70 Aa	19,78 ± 0,58 Aa	14,57 ± 0,49 Aa
	14	4,45 ± 0,16 Aa	15,71 ± 0,56 Aa	19,40 ± 0,56 Aa	14,22 ± 0,87 Aa
240	7	4,20 ± 0,29 Aa	18,77 ± 4,30 Aa	19,81 ± 0,16 Aa	14,43 ± 0,21 Aa
	14	4,51 ± 0,31 Aa	16,53 ± 1,56 Aa	19,29 ± 1,18 Aa	14,67 ± 1,45 Aa
CV (%)		12,97	21,04	4,25	7,81

\*Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (0,05). Médias seguidas de ± desvio padrão; Legenda: PR - programas de resfriamento rápido; PA - programas de armazenamento em câmara fria; PP - perda de peso; FP - firmeza da polpa; MS - matéria seca; SST - sólidos solúveis totais; CV - coeficiente de variação dos parâmetros avaliados.

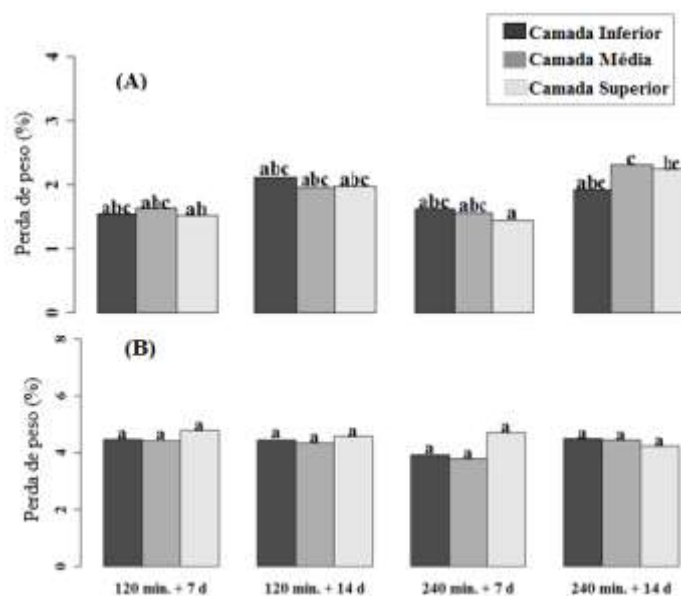
É possível observar que após os três dias de prateleira, as mangas de todos os tratamentos apresentaram perda de peso em torno de 4 e 5%. Chitarra e Chitarra (2005) consideram que perdas de peso entre 3 a 6% já são suficientes para causar uma significativa redução na qualidade, mas algumas frutas podem ser comercializadas com até 10% de perda.

A inexistência de diferenças significativas entre os parâmetros físicos químicos, comparando-se os tratamentos, pode está relacionada à ausência de processos fisiológicos mais ativos em consequência do estágio de maturação das mangas em estudo. Por serem colhidas em estágio 4 ou 5, a maior parte das transformações bioquímicas e estruturais, já se encontra consolidada nas frutas (DOREYAPPY-GOWDA; HUDDAR, 2001; HOSAKOTE; TYAKAL; RUDRAPATNAM, 2006; TEFERA; SEYOUM; WOLDETSADIK, 2007; GOULAO; OLIVEIRA, 2008; BALOCH; BIBI, 2012).

Estudos como os de Djoua et al. (2009) e Dea et al. (2010) comprovam que parâmetros físico-químicos de mangas em estágios avançados de maturação, tratadas termicamente, e armazenadas sob distintas condições de temperatura e umidade, pouco variaram uma vez estando as frutas fisiologicamente maduras.

Os ambientes refrigerados contribuirão para estabilizar os reduzidos processos fisiológicos, o que semelhantemente foi visto em estudos com mangas das variedades Kensington e Namdokmai (JACOBI; GILES, 1997; SIRISOMBOON et al., 2008).

A Figura 22 mostra os efeitos de cada tratamento pós-colheita sobre o parâmetro perda de peso em função das diferentes camadas com frutas no palete.



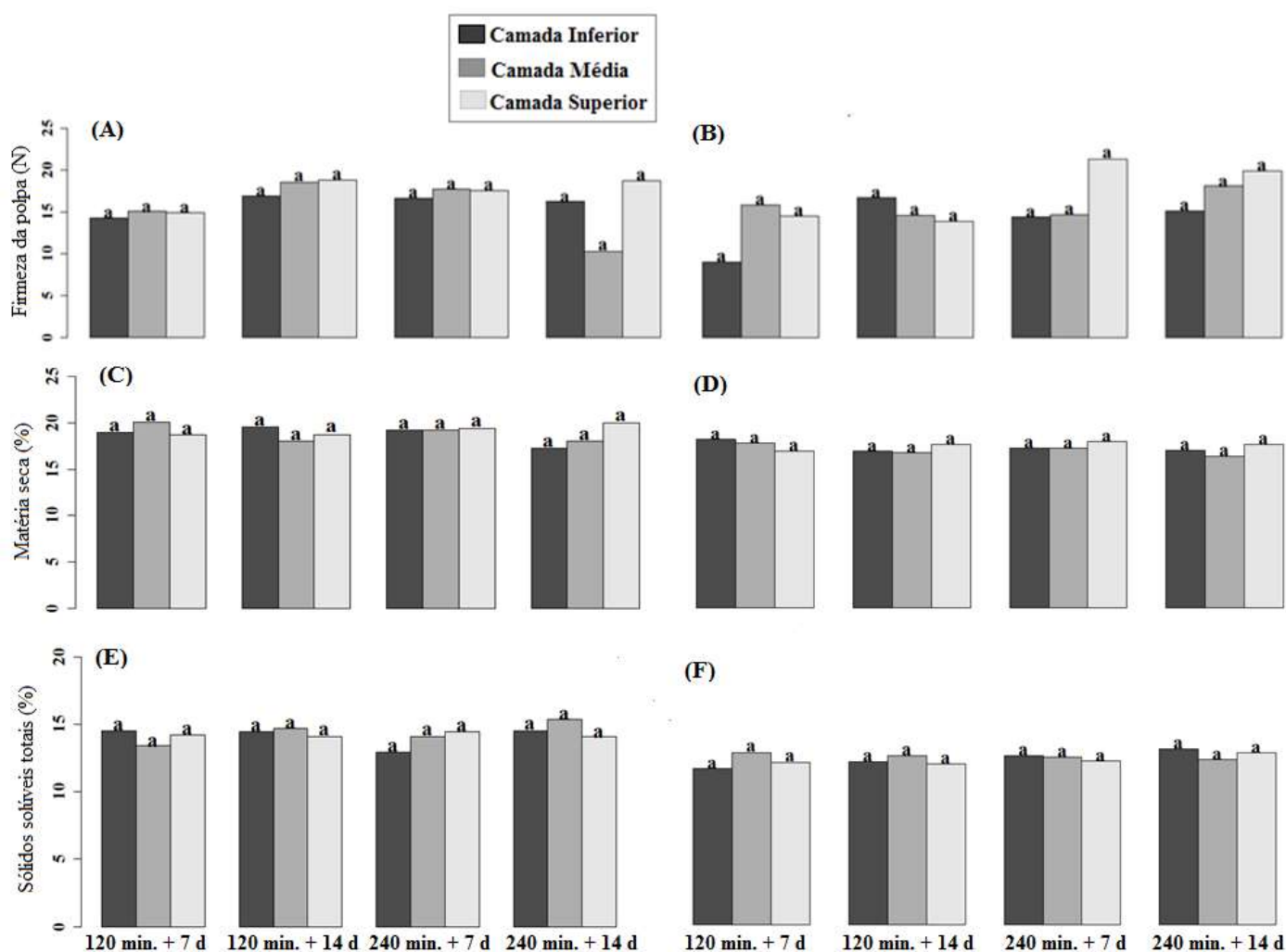
**Figura 22-** Efeitos de cada tratamento pós-colheita (A) e de cada tratamento pós-colheita após três dias de prateleira a 20 °C (B) sobre a perda de peso das mangas em função das camadas do palete. Barras de barplots seguidas de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: min-minutos; d-dias.

A perda de peso foi significativamente afetada pelas diferentes camadas do palete após cada tratamento pós-colheita (Figura 22A). Frutas com 240 minutos de resfriamento rápido e 14 dias de câmara fria, acondicionadas na camada média, apresentaram o maior valor médio percentual em perda de peso (2,31%), que se diferenciou estatisticamente do menor valor médio (1,44%), observado para frutas com 240 minutos de resfriamento rápido e 7 dias de câmara fria, acondicionadas na camada superior.

Heterogeneidades nas taxas de resfriamento que entram em contato com o palete, podem fazer com que a camada média tenha estado exposta a menores quantidades de ar frio e paralelamente a maiores temperaturas que ocasionaram a significativa perda observada (MUKAMA et al., 2018). A perda de peso das frutas de

cada tratamento, após três dias de prateleira a 20 °C, não foi significativamente afetada pelas diferentes camadas do palete (Figura 22B).

Não houve diferenças significativas para firmeza da polpa, teor de matéria seca e teores de sólidos solúveis totais, entre as camadas do palete, sob qualquer situação avaliada (Figura 23).



**Figura 23-** Efeitos de cada tratamento pós-colheita (A) (C) (E) e de cada tratamento pós-colheita após três dias de prateleira a 20 °C (B) (D) (F) sobre a firmeza da polpa, teor de matéria seca e teores de sólidos solúveis totais das mangas em função das camadas do palete. Barras de barplots seguidas de diferentes letras diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Legenda: min-minutos; d-dias.

Tal observação indica que as condições do ar e a localização das frutas em camadas, pouco influenciam em alterações destes parâmetros (DIAMANTIDIS et al., 2002; AKDEMIR; BAL, 2019 ).

#### 4. Conclusões

Os programas de 120 e 240 minutos de resfriamento rápido, associados com 7 e 14 dias de armazenamento em câmara fria, não influenciaram estatisticamente para mudanças na qualidade físico-química das mangas 'Rosas'. Porém, a exposição das frutas em ambiente de resfriamento com aproximadamente 70% de umidade relativa, contribuiu para que a perda de peso aumentasse de 0 até valores entre 4 e 5%, após os diferentes tratamentos pós-colheita e mais três dias de prateleira em ambiente a 20 °C.

Em termos de localização da fruta no palete, apenas a perda de peso foi significativamente afetada pelas três diferentes camadas avaliadas. Mangas da camada média com 240 minutos de resfriamento rápido e 14 dias de câmara fria teve uma maior perda de peso do que frutas da camada superior com 7 dias de câmara fria.

Estes resultados podem ser importantes para auxiliar no processo das escolhas mais adequadas por programas de refrigeração pós-colheita, que visam garantir a qualidade e redução de danos nas frutas, dentro da cadeia de produção e consumo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

#### Referências

AKDEMIR, S.; BAL, E. Quality Changes in Apple in Evaporative Cooling Store. **Erwerbs-Obstbau**, v. 62, p. 61-67, 2019.

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 16th ed. Arlington: AOAC, 2016. 1141 p.

ARENDSE, E.; FAWOLE, O. A; OPARA, U. L. Influence of storage temperature and duration on postharvest physico-chemical and mechanical properties of pomegranate fruit arils. **CyTA - Journal of Food**, v.12, p. 389-398, 2014.

ASSIS, J. S. de; LIMA, M. A. C. de. **Resfriamento rápido**. Agência de Informação Embrapa. 2005.

AZENE, M.; WORKNEH, T. S.; WOLDETSADIK, K. Effect of packaging materials and storage environment on postharvest quality of papaya fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 6, p. 1041–1055, 2011.

AWOLE, S.; KEBEDE, W.; WORKNEH, T. S. Postharvest quality and shelf life of some hot pepper varieties. *Journal of Food Science and Technology*, v. 50, n. 5, p. 842–855, 2011.

BALOCH, M. K.; BIBI, F. Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **South African Journal of Botany**, v. 83, p. 109–116, 2012.

BHARDWAJ, R. L.; SEM, N. Z. Zero energy cool chamber storage of Mandarin (*Citrus reticulata* cv. Nagpur Santra). **Journal of Food Science Technology**, v. 40, n. 6, p. 669–672, 2003.

BIANCHI, T. et al. Textural properties of different melon (*Cucumis melon* L.) fruit types: sensory and physical-chemical evaluation. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 46–56, 2016.

CARVALHO, C.C. de. **Otimização Dinâmica da Logística da Distribuição de Produtos Alimentícios Refrigerados e Congelados**. São Paulo: Campinas, 2013.

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, n. 1, p. 18-35, 2015.

CEPEA, 2019. Hortifruti Brasil. ESALQ/USP Ano 18-nº196. ISSN 1981-1837.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2005.

CHIUMARELLI, M. et al. Fresh cut ‘Tommy Atkins’ mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 381-387, 2011.

COSME SILVA, G. M. et al. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 237, p. 372–378, 2017.

DE MELLO VASCONCELOS, O. C. et al. Modeling “Tommy Atkins” mango cooling time based on fruit physicochemical quality. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 413–420, 2019.

DEA, S. et al. Quality of fresh-cut “Kent” mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 56, n. 2, p. 171–180, 2010.



DIAMANTIDIS G. et al. Scald susceptibility and biochemical/physiological changes in respect to low preharvest temperature in ‘Starking Delicious’ apple fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 92, p. 361–366, 2002.

DJIOUA, T. et al. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, n. 2, p. 221–226, 2009.

DOREYAPPY-GOWDA, I. N. D.; HUDDAR, A. G. Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica* L.) fruits. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore 38, p. 135–137, 2001.

EKRAMI-RAD, N.; KHAZAEI, J.; KHOSHTAGHAZA, M-H. Selected Mechanical Properties of Pomegranate Peel and Fruit. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 3, p. 570–582, 2011.

FAOSTAT, 2017. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Retrieved on May 11, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/>.

FARINA, V. et al. Chemical-physical and nutritional characteristics of mature-green and mature-ripe “Kensington Pride” mango fruit cultivated in Mediterranean area during cold storage. **Fruits**, v.72, n.4, p. 221–229, 2017.

FAWOLE, O. A.; OPARA, U. L. Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 47, p. 300-323, 2013.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIM, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**, 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

GIOVANNONI, J. J. et al. **The epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening**. Annual Review of Plant Biology, v. 68, n.1, 2017.

GOULAO L. F.; OLIVEIRA, C. M. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit – A Review. **Trends Food Science Technology**, v. 19, p. 4–25, 2008.

GUPTA, N.; JAIN, S. K. Storage behavior of mango as affected by post harvest application of plant extracts and storage conditions. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2499–2507, 2012.

HAILU, Z. Effects of Controlled Atmosphere Storage and Temperature on Quality Attributes of Mango. **Journal of Chemical Engineering Process Technology**, v. 7, n. 317, 2016.

HAN, Q. et al. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1947–1953, 2017.

HOA, T. T.; DUCAMP, M. Effects of different coatings on biochemical changes of 'cat Hoa loc' mangoes in storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 150-152, 2008.

HOSAKOTE, M. Y.; TYAKAL, N. P; RUDRAPATNAM, N. Mango ripening: changes in cell wall constituents in relation to textural softening. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 86, p. 713-721, 2006.

JACOBI, K. K.; GILES, J. E. Quality of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.) fruit following combined vapour heat disinfestation and hot water disease control treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 12, n. 3, p. 285-292, 1997.

LI, J. et al. Effects of Wax Coating on the Moisture Loss of Cucumbers at Different Storage Temperatures. **Journal of Food Quality**, p. 1-6, 2018.

LIM, B.S. et al. Effect of storage temperature on the core breakdown of 'Wonhwang' and 'Niitaka' pear fruits. **Korean Journal Horticultural Science Technology**, v. 25, p. 212-216. 2007.

LOBOS, G. A.; CALLOW, P.; HANCOCK, J. F. The effect of delaying harvest date on fruit quality and storage of late highbush blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 87, p. 133-139, 2014.

MANSOURI, Y. S.; KHAZAEI, J.; HASSAN-BEYGY, S. R. Post-harvest characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. **Agronomical Research in Moldavia**, v. 2, p. 5-16, 2011.

MUKAMA, M. et al. Analysing the dynamics of quality loss during precooling and ambient storage of pomegranate fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 245, p. 166-173, 2018.

NETO, S. E. de A. **Fruticultura tropical**. Universidade Federal do Acre de Ciências Biológicas e da Natureza. Rio Branco, AC, p. 210, 2012.

NOIWAN, D. et al. Kinetics of mango fruits (*Mangifera indica* cv. 'Nam Dok Mai Si Thong') quality changes during storage at various temperatures. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 6, p. 199-212, 2017.

NUNES, M. C. N.; EMOND, J. P; BRECHT, J. K. Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. **Journal of Food Science Technology**, v. 41, p. 328-340, 2006.

OPARA, L. U. et al. **Physiological responses and changes in postharvest quality attributes of 'Helow' pomegranate variety (*Punica granatum* L.) during refrigerated storage**. In: CIGR – International Conference of Agricultural Engineering XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-Conbea 2008 Technology for all Brazil. 2008.

- OSORIO, S.; FERNIE, A. R. Biochemistry of fruit ripening. **The molecular biology and biochemistry of fruit ripening**, p.1-19, 2013.
- PAULL, R.E.; CHEN, C.C. **Mango**. in : Gross, K.C. et al. (Ed). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, Florist and Nursery Stocks. A draft Version of the USDA Agric. Handbook 66. 2004.
- PATHARE, B. P.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p. 36-60, 2013.
- SAFTNER, R. et al. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, p. 19–26, 2008.
- SILVA, J. de S.; FINGER, F. L.; CORRÊA, P. C. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. **Armazenamento de frutos e hortaliças**. Viçosa, MG, p. 469–502, 2008.
- SIRISOMBOON, P. et al. A Preliminary Study on Classification of Mango Maturity by Compression Test. **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 1, p. 206–212, 2008.
- TEFERA, A.; SEYOUM, T.; WOLDETSADIK, K. Effect of disinfection, packaging, and storage environment on the shelf life of mango. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 2, p. 201-212, 2007.
- TERUEL, B. J. M. Tecnologias de resfriamento de frutas e hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.14, n.2, p.199-220, 2008.
- TIGIST, M.; WORKNEH T. S.; WOLDETSADIK, K. Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. **Journal of Food Science and Technology**, 2011.
- VASCONCELOS, O. C. et al . Environmental variables in packing houses and their effects on the quality of grapes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 22, n. 2, p. 125-130, 2018.
- ZAHARAH, S. S.; SINGH, Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, p. 202–210, 2011.
- ZHANG, L. et al. Changes in firmness, pectin content and nanostructure of two crisp peach cultivars after storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n.1, p. 26–32, 2010.
- ZHANG, Z. et al. Hot water treatment maintains normal ripening and cell wall metabolism in mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **HortScience**, v. 47, p. 1466–1471, 2012.

ZHU, X. et al. Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 32, n. 5, p. 770-784, 2008.

WAELTI, H. Humidity management in CA storages. WSU Tree Fruit Research & Extension centre. **Postharvest Information Network**, 2010.

WORKNEH, T. S.; OSTHOFF, G.; STEYN, M. Effects of preharvest treatment, disinfections and storage environment on quality of tomato. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 6, p. 685–694, 2011.

WIJEWARDANE, R. M. N. A.; GULERIA, S. P. S. Effect of pre-cooling, fruit coating and packaging on postharvest quality of apple. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 325–331, 2011.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Ambos os programas de resfriamento rápido apresentaram os mesmos efeitos para as temperaturas e para a manutenção dos parâmetros de qualidade físico-química de mangas 'Rosa' durante 14 dias de armazenamento em câmara fria. O resfriamento rápido por 120 minutos é mais eficiente do que por 240 minutos, uma vez sendo mais econômico.

Os resultados do estudo tornam-se importantes para se avaliar o quanto programas de refrigeração rotineiramente adotados estão se adequando à manutenção da qualidade da fruta durante armazenamento e para subsidiar o desenvolvimento de um manejo pós-colheita mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ALANDER, J. T. et al. A Review of Optical Nondestructive Visual and Near-Infrared Methods for Food Quality and Safety. **International Journal of Spectroscopy**, v. 2013, p. 1-36, 2013.
- ALVAREZ, G.; TRYSTRAM, G. Design of a new strategy for the control of the refrigeration process: fruit and vegetables conditioned in a pallet. **Food Control**, v. 6, n. 6, p. 347-355, 1995.
- ARAH, I. K. et al. Preharvest and postharvest factors. **International Journal of Agronomy**, 47804, 2015. 6 p.
- ARAÚJO, J. L. P. et al. **Análise do custo de produção e comercialização da manga Produzida e exportada na região do submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semi-árido, 2003. 7p.
- ARAÚJO, D. O.; MORAES, J. A. A.; CARVALHO, J. L. M. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 10, p. 51-73, 2017. Edição Especial.
- ASHRAE. **Thermal properties of foods**. Fundamentals handbook. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, 1993. 980 p.
- ASHRAE. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. Systems and Applications. Atlanta: American Society of Heating, **Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. Chapter 14. 2002.
- AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Traceability in a food supply chain: safety and quality perspectives. **Food Control**, v.39, n.1, p.172-184, 2014.
- BADIA-MELIS, R. et al. New trends in cold chain monitoring applications – A review. **Food control**, v. 86, p. 170-182, 2018.
- BATISTA, P. F. et al. Quality of different tropical fruit cultivars produced in the Lower Basin of the São Francisco Valley. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 176-184, 2015.
- BENEVIDES, S.D. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 28:571-578. 2008.
- BENICHOU M. et al. Postharvest Technologies for Shelf Life Enhancement of Temperate Fruits. In: Mir S., Shah M., Mir M. (eds). **Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits**. 2018.

BEN-TZUR, I. et al. The power of an integrated monitoring technology system for minimizing quality and food safety risks in fresh produce supply chain. **Acta Horticulturae**, v. 1079, n. 2010, p. 351-357, 2015.

BERRY, T. M. et al. Geometric design characterisation of ventilated multi-scale packaging used in the South African pome fruit industry, **Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America**, v. 46, n. 3, p. 34-42, 2015.

BRECHT, J. K.; YAHIA, E. M. Postharvest Physiology. In: LITZ, R. E. (Ed.). **The mango: botany, production and uses**. 2nd ed. Wallingford: Cabi, cap. 13, p. 484-528, 2009.

BRITTO, W. S. F. et al. **A demonstração do valor adicionado na cadeia produtiva da manga: estudo de caso na região do vale do São Francisco**. 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/428.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

BROSNAN, T.; SUN, D. W. Precooling techniques and applications for horticultural products- a review. **International Journal of Refrigeration**, France, v.24, p.154-170, 2001.

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. de. Avalia o das altera es em polpa de manga 'Tommy-Atkins' congeladas. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 3, p. 651-653, 2002.

CANUTO, K. M.; SOUZA, M. A. N.; GARRUTI, D. S. **Composi o química volátil, em diferentes est dios de maturação, de manga 'Tommy Atkins' Produzida no Vale do São Francisco**. *Quimica Nova*, v. 32, p. 2377-2381, 2009.

CARDELLO, H. M. A. B.; CARDELLO, L. Teor de vitamina c, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangífera  ndica* L.) VAR. HADEN, durante o amadurecimento. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 211-217, 1998.

CARVALHO, D. **Qualidade e conserva o pós-colheita de goiabas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.17, n.179, p.8-18, 1994.

CARVALHO, D. **Fome e Desperdício de Alimentos**. IPEA - Revista desafios do DESENVOLVIMENTO, p.48-55, 2009.

CARVALHO, J. N. de. **Sele o e classifica o inteligente de mangas por análise de imagens**. 2015. 272f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

CENCI, S.A. **Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar**. In: Fenelon do Nascimento Neto. (Org.) *Recomenda es Básicas para a Aplica o das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabrica o na*

Agricultura Familiar. 1ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.67-80, 2006.

CEPEA, 2019. **Hortifruti Brasil**. ESALQ/USP Ano 18-nº196. ISSN 1981-1837.

CHAVES, A.; ZARITZKY, N. Cooling and Freezing of Fruits and Fruit Products. In: Rosenthal A., Deliza R., Weliti-Chanes J., Barbosa-Cánovas G. (eds) Fruit Preservation. **Food Engineering Series**. Springer, New York, NY. 2018.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2005.

CHOUDHURY, M. M.; COSTA, T. S. da. **Cultivo da videira**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. In: Colheita e Pós-Colheita. Pernambuco, 2004.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. Resfriamento de frutas e hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 428 p.

CASQUERO, P. A.; GUERRA, M. Harvest parameters to optimise storage life of European plum 'Oullins Gage'. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 2049–2054, 2009.

COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. **Cultivo da Mangueira**. Cultivares. In: MOUCO, M.A.C. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, Sistemas de Produção, 2. Versão eletrônica, 2004.

COSTA, A. N. da. et al. **Recomendações técnicas para a produção de manga**. Vitória, ES: Incaper, 2008. 56 p. il. (Incaper. Documentos, 155).

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M.; BURNQUIST, H. L. Impactos economicos de reducoes nas perdas pos-colheita de produtos agricolas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, p. 395-408, 2015.

CUIÑAS, I. et al. RFID-based traceability along the food-production chain. **IEEE Antennas & Propagation Magazine**, v.56, n.2, p.196-207, 2014.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology of mango. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Campos dos Goytacazes, v.19, n.4, p. 363-376, 2007.

DEFRAEYE, T. et al.. Towards integrated performance evaluation of future packaging for fresh produce in the cold chain. **Trends in Food Science & Technology**, v. 44, n. 2, p. 201–225, 2015.

DOLLHOJO, E. T. et al . Avaliação da qualidade de manga 'palmer' tratada com 1-metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 28-38, 2009.

EMBRAPA. Secretaria de Comunicacao. **Embrapa em números**. Brasilia, DF: Embrapa, 2015.138 p.



FAO - **Food and Agriculture Organization** [homepage on the internet]. Roma: FAO. 2011.

FARINA, V. et al. Chemical-physical and nutritional characteristics of mature-green and mature-ripe “Kensington Pride” mango fruit cultivated in Mediterranean area during cold storage. **Fruits**, v. 72, n.4, p. 221–229, 2017.

FERREIRA, M. D.; FERRARI, P. R. Qualidade da Classificação do tomate de mesa em unidades de beneficiamento. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.2, p. 579-586, 2007.

FISCHER, I. H. et al. Citrus postharvest diseases and injuries related to impact on packing lines. **Scientia Agrícola**, v. 66, n. 2, p. 210-217, 2009.

GENTILE, C. et al., Food quality and nutraceutical value of nine cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) fruits grown in Mediterranean subtropical environment, **Food Chemistry**, 2018.

GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: EMBRAPA, 2002. 452p.

GIOVANNONI, J. J. Genetic regulation of fruit development and ripening. **Plant Cell** v. 16, p. –180, 2004.

HERNÁNDEZ, Y.; LOBO, M.G.; GONZÁLEZ, M. Determination of vitamin C in tropical fruits: a comparative evaluation of methods. **Food Chem.** v. 96, n.4, p. 654– 664, 2006.

HONÓRIO, S.L.; MORETTI, C.L. **Fisiologia pós-colheita de frutos e hortaliças**. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S.L.; MORETTI, C.L. (Ed.). Resfriamento de frutas e hortaliças. Campinas: UNICAMP/EMBRAPA, p. 59-81, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Desperdício – Custo para todos – Alimentos apodrecem enquanto milhões de pessoas passam fome**. Desafios do Desenvolvimento, ano 6, IPEA, edição 54. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Prod. agric. munic., v. 39, Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola 2012**. IBGE, 2013.

JACKMANN, H. Air coolers, air currents and temperature distribution in large refrigerated warehouses. **Technical paper no. 5 of Ammonia Refrigeration Conference & Trade Show**, Nashville. 2007.

JHA, S. N. et al. Prediction of sensory profile of mango using textural attributes during ripening. **Food Bioprocess Technol.** 6, 734–745, 2011.

JEDERMANN, R. et al. Reducing food losses by intelligent food logistics. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 372, p. 20130302, 2014.

KADER, A. A. Postharvest biology and technology: an overview. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed. Oakland: University of California Agricultural and Natural Resources, p. 39-48, 2002.

KADER, A.A. Biología y tecnología postcosecha: Un panorama. In **Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas**, ed. A.A. Kader, 157–168. Davis: Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis. 2007.

KETZENBERG, M. E.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M. **The value of RFID technology enabled information to manage perishables**. [s.l.]: [s.n.], 2009. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1376152](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1376152)>. Acesso em: 20 jan. 2020.

KIENZLE, S. et al. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Chok Anan') in regard to long supply chains. **Postharvest Biol. Technol.** v. 61, p. 41–55, 2011.

KIST, B. B. et al. **Anuário brasileiro da fruticultura 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88 p. 2018.

KOHATSU, D. S. et al. Qualidade de frutos de cajá-manga armazenados sob diferentes temperaturas. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 33, n. spe1, p. 344-349, 2011.

LÉCHAUDEL, M.; JOAS, J. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behavior. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 19, p. 287-298, 2007.

LIMA, J. P. R.; MIRANDA, E. A. de A. **Fruticultura irrigada no Vale do São Francisco: incorporação tecnológica, competitividade e sustentabilidade**. Encontro regional de estudos de trabalho – ABET, 3ed, Recife. Anais. 2000.

LIMA, G. M. de S. et al. Floral induction management in 'Palmer' mango using uniconazole. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 46, n. 8, p. 1350-1356, ISSN 1678-4596. 2016.

LIMA, J. R. F. de et al. **Análise do mercado de manga produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo**. In: Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural do regional nordeste, 13. 2018, Juazeiro, BA. Novas dinâmicas de desenvolvimento do Semiárido: anais. Juazeiro: UNIVASF: SOBER-NE, 2018.

LIMA NETO, F. P. **Mangueira - Características da planta**. Brasília: EMBRAPA. 2017.

LOUISE, L.; GOEDHALS-GERBER, G.; KHUMALO, C. Identifying temperature breaks in the export cold chain of navel oranges: A Western Cape case, **Food Control**, 2019.

LÜTJEN, M.; DITTMER, P.; VEIGT, M. Quality driven distribution of intelligent containers in cold chain logistics networks. **Production Engineering**, v. 7, n. 2-3, p. 291-297, 2013.

MALGARIM, M. B.; CANTILLANO, R. F. F.; COUTINHO, E. F. Sistemas e condições de colheita e armazenamento na qualidade de morangos cv. Camarosa. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 185-189. 2006.

MARTIM, N. S. P. P. **Estudo das características de processamento da manga (Mangífera Indica L.) variedade Tommy Atkins desidratada**. 2006. 75f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MATARE, T. E. Postharvest losses and changes in physico-chemical properties of fruit (peaches, pears and oranges) at retail and during post-purchase storage (master's thesis). **Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa**, 2012.

MATOS, A. P. **Manga produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 63p.

MCATEE, P. et al. A dynamic interplay between phytohormones is required for fruit development, maturation, and ripening. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.4, n.79, p.1-7, 2013.

MENEZES, J. B.; ALVES, R. E. **Fisiologia e tecnologia pós colheita do pedúnculo do cajú**. Fortaleza: Embrapa CNPAT, 1995. 20p.

MERCADANTE, A.Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. **J. Agric. Food Chem.** v. 46, n.1, p. 128–130, 1998.

MERCIER, S. et al. Time – Temperature Management Along the Food Cold Chain : A Review of Recent Developments. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 647– 667, 2017.

MOHSENIN, N. N., **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York. USA, 1980. 405 p.

NASPETTI, S.; ALBERTI, F.; SOLFANELLI, F. Quality function deployment in the organic animal food sector: application to poultry meat. **Ital. J. Anim. Sci.** v. 14, n. 3, 4050, 2015.

NDRAHA, N. et al. Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations, **Food control**, v. 89, p.12-21, 2018.

NETO, S. E. de A. **Fruticultura tropical**. Universidade Federal do Acre de Ciências Biológicas e da Natureza. Rio Branco, AC, p. 210, 2012.

NEVES FILHO, L. C. Alimentos e refrigeração. Campinas: UNICAMP-FEA, 2003. 385 p.

NEVES, L. C. et al. Qualidade pós-colheita de mangas, não-refrigeradas, e submetidas ao controle da ação do etileno. **Rev. Bras. Fruticult.** v. 30, n. 1, p. 94-100, 2008.

OLIVEIRA, E. N. A. de. et al. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. ISBN: 978-85-8333-122-3. Natal: IFRN. 2015. 234 p.

OPARA, U. L.; MDITSHWA, A. African Journal of Agricultural Research A review on the role of packaging in securing food system: Adding value to food products and reducing losses and waste. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 22, p. 2621–2630, 2013.

PADDA, S. M. et al. Methods to analyze physicochemical changes during mango ripening: a multivariate approach. **Postharvest Biol. Technol.** v. 62, p. 267–274, 2011.

PFAFFENBACH, L. B. et al. Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 410-413, 2003.

PINTO, A. C. D. Q. **Capa: a produção, o consumo e a qualidade da manga no Brasil**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 24, n.3, p.796, 2002.

PINTO, A. C. Q.; PINHEIRO, F.; GUIMARÃES, T. G. Estratégias do melhoramento genético da manga a visando atender a dinâmica de mercado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, p. 64-72, 2011.

PINTO, J. A. V. et al. Relative humidity during cold storage on Postharvest quality of “Niagara Rosada” table grapes. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 386–391, 2015.

RAO, C. G. **Engineering for Storage of Fruits and Vegetables: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage**. [s.l: s.n.]. 2015.

RODRIGUE, J-P.; NOTTEBOOM, T. **The Cold Chain and its Logistics**. 2017.

RUIZ-ALTISENT, M. et al. Sensors for product characterization and quality of specialty crops-A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 176-194, 2010.

RUIZ-GARCIA, L.; LUNADEI, L. The role of RFID in agriculture: applications, limitations and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 79, n. 1, p. 42-50, 2011.

SAKAMOTO, N. M. **Sazonalidade, refrigeração e diferentes tipos de recobrimento na conservação pós-colheita de estacas de cordilene (Cordyline rubra Hügel)**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS, C. N. P. **Elaboração de um estruturado de polpa de manga (Mangifera indica L. cv Tommy Atkins) parcialmente desidratada por osmose**. 2003. 79f. Dissertação (Pós- Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SANTOS, D. B et al. **Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BA**. Magistra, v. 20, p. 342-348, 2008.

SANTOS-SEREJO, J. A.. **Classificação e descrição botânica**. In: Pereira, M. E. C.; Fonseca, N.; Souza, F. V. D. (Eds.). Manga: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 1, p. 15-17. 2005.

SILVA, E. M. F. et al. **Estudos sobre mercado de frutas**. São Paulo: FIPE, 373p. 1999.

SINGH, Z. et al. Mango: postharvest biology and biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, p. 217-236, 2013.

SUCUPIRA, W. F. M. **Tempo de resfriamento do mamão golden durante as etapas de beneficiamento e arrefecimento em túnel de ar forçado**. 2014. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Grau de Tecnólogo de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. **Cultivo da mangueira**. Petrolina: Embrapa Semi-árido, 2004. 77p.

TERUEL, B. J. M. **Tecnologias de resfriamento de frutas e hortaliças**. R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.14, n.2, p.199-220, 2008.

THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G.; KASMIRE, R. F. **Enfriamiento de productos hortofrutícolas**. In Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas, ed. A.A. Kader, 157–168. Davis: Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis. 2007.

TORRES, R. et al . Relation of Color and Maturity Stage with Physicochemical Properties of Tropical Fruits. **Inf. tecnol.**, La Serena, v. 24, n. 3, p. 51-56, 2013.

VALEEXPORT. **VALEEXPORT há 24 anos unindo forças para o desenvolvimento do Vale do São Francisco e da fruticultura brasileira**.

Associação dos Produtores Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco -VALEXPORT, Petrolina –PE, 2012.

VILELA, N. J. et al. Desafios e oportunidades para o agronegócio da cebola no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n.4, p. 1029-1033, 2005.

XAVIER, I. F. et al. Qualidade pós-colheita da manga 'tommy atkins' comercializada em diferentes estabelecimentos comerciais no município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga [en linea]**, 2009.

ZAHARAH, S. S.; SINGH, Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored “Kensington Pride” mango. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n.3, p.202–210, 2011.

ZHANG, Z. et al.. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. **Food Chem.** v. 219, p. 76–84, 2017.

WANITCHANG, P. et al. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. **J. Food Eng.** v. 105, n.3, p. 477–484, 2011.

WILLS, R., B. et al. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetable and ornamentals. **Wallingford: CAB International.**, 1998. 62 p

WILLS, R. B. H. et al. Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals (5th ed.). **Oxfordshire: CAB International.**, 2007. 227 p.

YAHIA, E. M.; ELANSARI, A. Postharvest technologies to maintain the quality of tropical and subtropical fruits. **Cambridge: Woodhead.**, 2011.