



Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia

**REVESTIMENTO NANOESTRUTURADO DE CERA DE
CARNAÚBA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-
COLHEITA DE TOMATES**

São Carlos – SP

2015

Marcela Miranda

REVESTIMENTO NANOESTRUTURADO DE CERA DE CARNAÚBA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS- COLHEITA DE TOMATES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadores:

Dr. Marcos David Ferreira

Dr. Daniel Souza Corrêa

São Carlos – SP

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M672r Miranda, Marcela
 Revestimento nanoestruturado de cera de carnaúba
na manutenção da qualidade pós-colheita de tomates /
Marcela Miranda. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
 94 p.

 Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2015.

 1. Solanum lycopersicum. 2. Nanoemulsão. 3.
Emulsão convencional. 4. Coberturas comestíveis. 5.
Conservação. I. Título.



Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Marcela Miranda, realizada em 31/07/2015:

Prof. Dr. Marcos David Ferreira
Embrapa

Profa. Dra. Ana Carolina Almeida Miguel
ESALQ-USP

Prof. Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis
Embrapa

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais,
por toda dedicação e amor.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, por me afagar nas horas remotas e conturbadas dessa jornada; me proporcionar convivências e experiências únicas, orientando-me e guiando-me a buscar ser uma pessoa melhor.

Aos meus familiares, irmãs e irmão, sobrinhos carinhosos e em especial meus pais Zé e Lourdes, por todo incentivo durante esses 28 anos, por todo amor recebido e por apoiar minhas decisões.

Aos meus orientadores Dr. Marcos David Ferreira e Dr. Daniel Souza Corrêa pela orientação no mestrado, por cada ensinamento acadêmico e da vida, pelos conselhos e amizade.

A Tanquímica e Marilene Ribeiro pela parceria, toda ajuda e colaboração decisiva na execução desse projeto, bem como seus estagiários Luiz e Luana pela ajuda cedida.

Aos funcionários da Embrapa Instrumentação, pelo acompanhamento e solicitude constante, desde o projeto até a defesa, e pelo bom convívio diário, tornando o ambiente de trabalho agradável, em especial: Silviane, Viviane, Adriana, Matheo, Joana, Alice, Marcelo, Milene, Jorge e Godoy

A todo o pessoal do Laboratório Tecnologia Pós-colheita, pela amizade, pelo convívio diário, pelas risadas e por terem me auxiliado nos experimentos realizados, em especial as estagiárias Karen, Ariane, Marina, Eliane, Brenda e Amanda. As colegas Dra. Poliana Spricigo e Dra. Lucimeire Pilon pelo apoio no projeto, além dos conselhos pessoais e acadêmicos durante esses anos. Aos mestrandos Fernanda, Guga, Douglas e Karla pelo compartilhamento de seus saberes.

Aos produtores de tomate Sr. Zacarias e Sr. Marcelo Mallmann que tão gentilmente disponibilizaram suas plantações para os experimentos.

A Pontes-PI pela doação da matéria-prima (cera de carnaúba em flocos) para síntese das emulsões.

A todos meus amigos que sempre me acompanham e que tiveram contribuição indispensável para a concretização de mais essa etapa em minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e a Universidade Federal de São Carlos pela oportunidade.

A Capes pela concessão da minha bolsa de mestrado e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a concretização dessa etapa em minha vida.

A vida é uma oportunidade, aproveite-a...

A vida é beleza, admire-a...

A vida é sonho, torne-o realidade...

A vida é um desafio, enfrente-o...

A vida é um dever, cumpra-o...

A vida é um jogo, jogue-o...

A vida é preciosa, cuide dela...

A vida é riqueza, conserve-a...

A vida é amor, goze-o...

A vida é um mistério, descubra-o...

A vida é promessa, cumpra-a...

A vida é tristeza, supere-a...

A vida é um hino, cante-o...

A vida é uma luta, aceite-a...

A vida é aventura, arrisque-a...

A vida é alegria, mereça-a...

A vida é a vida, defenda-a...

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

O tomate é uma das hortaliças mais populares e consumidas mundialmente, porém altamente perecível devido ao seu elevado teor de água. As tecnologias em pós-colheita de frutas e hortaliças buscam aumentar a vida útil dos frutos; manter a qualidade e reduzir perdas quantitativas e qualitativas entre a colheita e o consumo. Dentre essas tecnologias, o uso de revestimentos em produtos hortifrutícola vem sendo cada vez mais utilizados por serem eficientes na redução de perda de água e na manutenção da qualidade dos produtos. Desse modo, este trabalho teve como objetivo sintetizar emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba e avaliar a influência de diferentes concentrações desses revestimentos na qualidade pós-colheita de tomates (*Solanum lycopersicum*). Para tanto, emulsões com diferentes tamanhos de partícula foram sintetizadas e caracterizadas através de medidas de tamanho de partícula (diâmetro hidrodinâmico); potencial zeta (estabilidade coloidal); índice de polidispersão; imagens de microscopia eletrônica de varredura; ângulo de contato e estabilidade em diferentes ambientes. Na sequência, foi realizada a avaliação pós-colheita das emulsões sintetizadas aplicando-as em tomates das cultivares 'Débora' e 'Pizzadoro'. Para avaliar o efeito destes filmes na qualidade física e química e na atmosfera interna dos frutos, os seguintes experimentos foram realizados: (I) tomates 'Débora' revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba, nas concentrações de 9% e 18% e armazenados a $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ (80% UR) por 16 dias, avaliados por meio de análises físicas e químicas e de gases (etileno, CO_2 e O_2); (II) tomates 'Pizzadoro' revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba, nas concentrações 9% e 18% e armazenados a $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ (80% UR) por 13 dias, sendo realizadas as mesmas análises de qualidade do experimento (I); e (III) Análise sensorial de tomates 'Débora' revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba, nas concentrações 9% e 18% e armazenados a $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ (80% UR) por 10 dias, os quais foram avaliados quanto à aparência, intenção de compra e ordenação por preferência. Verificou-se que a nanoemulsão apresentou menor tamanho de partícula e polidispersividade em comparação à emulsão convencional. Nos ensaios pós-colheita, os frutos revestidos com as emulsões apresentaram menor perda de massa, comparativamente aos do controle. Tomates 'Pizzadoro' revestidos com as diferentes emulsões apresentaram-se mais claros e menos vermelhos ao final do armazenamento em relação ao controle. A nanoestruturação do material lipídico, cera de carnaúba, não alterou a propriedade de barreira controladora da permeação de água das películas, sendo semelhante ao desempenho do revestimento com maior tamanho de partícula. A nanoemulsão resultou em maior aceitação dos tomates, intenção de compra e preferência pelos provadores no teste sensorial, provavelmente devido ao brilho conferido por esse revestimento.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, nanoemulsão, emulsão convencional, coberturas comestíveis, conservação.

Abstract

Tomato is one of the most popular and consumed vegetable. However it is highly perishable because of its high water content. Post-harvest technologies of fruits and vegetables try to increase the shelf life of fruits, to keep quality and to reduce quantitative and qualitative losses between harvest and consumption. One of these technologies is based on the use of coatings on fruits and vegetables, because they are effective in reducing water loss and maintaining the quality of fresh products. This study aimed to synthesize and compare conventional emulsion and nanoemulsion of carnauba wax, as well as to evaluate the influence of different concentrations of these coatings on tomatoes (*Solanum lycopersicum*) during storage. Therefore, emulsions with different particle sizes were synthesized and characterized by particle size measurements (hydrodynamic diameter); zeta potential (colloidal stability); polydispersity index; scanning electron microscopy images; contact angle and stability in different environments. In sequence, the emulsions were applied on 'Débora' and 'Pizzadoro' cultivar tomatoes to evaluate the effect of these coatings on the physical and chemical quality and the internal atmosphere of the fruits. For that purpose, the following experiments were performed: (I) 'Débora' cv Tomatoes were coated with conventional emulsion and nanoemulsion at concentrations 9% and 18% and stored at $23\text{ °C} \pm 1$ (80% RH) for 16 days. Assessments of physical chemical and gases analyses (ethylene, CO₂ and O₂) were carried out. (II) 'Pizzadoro' cv Tomatoes were coated with conventional emulsion and nanoemulsion at concentrations of 9% and 18% and stored at $23\text{ °C} \pm 1$ (80% RH) for 13 days and the same quality analyses were carried out. (III) Sensory analysis in 'Deborah' cv tomatoes coated with conventional emulsion and carnauba wax nanoemulsion at concentrations 9% and 18% and stored at $23\text{ °C} \pm 1$ (80% RH) for 10 days, were evaluated for the visual appearance, purchase intent and ordering by preference. Nanoemulsions showed smaller particle size and polydispersivity compared to conventional emulsion. In post-harvest tests, fruits coated with emulsions showed lower weight loss rate than control fruits. 'Pizzadoro' cv tomatoes coated with both emulsions appeared to be clearer and less red at the end of storage than the control sample. Nanoemulsion carnauba wax did not change the barrier property of the coating responsible for controlling water permeation, and presented performance similar to conventional emulsion. The nanoemulsion showed more acceptance, purchase intent and preference by tasters in the sensory test, probably due to the high brightness attained by this coating.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, nanoemulsion, conventional emulsion, edible coatings, conservation.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1.Cultura do tomate	4
3.2.Revestimentos comestíveis	7
3.3.Mecanismos de ação dos revestimentos	9
3.4.Revestimento de cera de carnaúba	10
3.5.Emulsões.....	13
4. METODOLOGIA.....	19
4.1.Material.....	19
4.2.Método	19
4.2.1. Síntese da emulsão convencional de cera de carnaúba	19
4.2.2. Síntese da nanoemulsão de cera de carnaúba (40nm)	19
4.2.3. Caracterização das emulsão de cera de carnaúba	20
4.2.3.1. Medidas de tamanho, potencial zeta (estabilidade coloidal) e índice de polidispersão	20
4.2.3.2. Análise morfológica	21
4.2.3.3. Ângulo de contato	21
4.2.3.4. Estabilidade das emulsões em diferentes ambientes ao longo do tempo ..	22
4.2.4. Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates	22
4.2.4.1. Experimento I: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão de cera de carnaúba com diferentes tamanhos de partícula e concentrações	23
4.2.4.2. Experimento II: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Pizzadoro’ revestidos com emulsão de cera de carnaúba com diferentes tamanhos de partícula e concentrações	25
4.2.4.3. Experimento III: Análise sensorial de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão de cera de carnaúba com diferentes tamanhos de partículas e concentrações.....	32
4.2.5. Análise estatística	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.Caracterização das emulsões de cera de carnaúba	36

5.1.1. Medidas de tamanho (diâmetro hidrodinâmico), potencial zeta (estabilidade coloidal) e índice de polidispersão	36
5.1.2. Análise morfológica	37
5.1.3. Ângulo de contato	41
5.1.4. Estabilidade da nanoemulsão em diferentes ambientes	42
5.2. Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates	45
5.2.1. Experimento I: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações	45
5.2.2. Experimento II: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Pizzadoro’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações	59
5.2.3. Experimento III: Análise sensorial de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações	74
6. CONCLUSÕES.....	83
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
8. REFERÊNCIAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

O tomate é uma das hortaliças mais populares e consumidas mundialmente, sendo que sua produção foi aumentada em dez vezes nos últimos 50 anos (FAO, 2011). O tomateiro é uma planta de ciclo de vida curto sendo de fácil cultivo em locais de clima temperado a tropical quentes e úmidos. Apresenta altos rendimentos e boas perspectivas econômicas, podendo ser consumido nas formas *in natura* ou processada (FERREIRA, 2004). É considerado um alimento funcional por conter substâncias antioxidantes como ácido ascórbico, licopeno, β -caroteno e compostos fenólicos, que exercem papel preventivo contra doenças crônicas não transmissíveis, além de vitaminas A e alto teor de fibras (GUILHERME et al., 2008).

Aumentar a vida útil dos produtos, manter a qualidade e valor nutricional, reduzir perdas quantitativas e qualitativas entre as etapas de colheita e consumo são alguns dos objetivos das tecnologias pós-colheita de frutas e hortaliças. Para tanto, busca-se entender os problemas existentes e conhecer os elementos que atuam no sistema, suas influências e as relações entre eles (PRUSSIA et al., 1986). Porém, as perdas pós-colheita ainda ocorrem em toda parte do mundo, variando de 10 a 80% entre a colheita e o consumo além do desperdício de água e energia (FAOSTAT, 2015).

O tomate contém elevado percentual de água, apresentando-se como um fruto altamente perecível e sujeito às variações de temperatura e umidade relativa do ambiente. A perda de água nos frutos além de ocasionar redução de peso, pode comprometer a aparência dos mesmos, influenciando negativamente a comercialização. A utilização de revestimentos comestíveis em produtos hortifrutícola mostra-se eficiente na redução de perda de água (CARVALHO FILHO, 2000; KAYS, 1991;) e na manutenção da qualidade do fruto (FEYGENBER; HERSHKOVITZ; NITITENKO, 2005; OJEDA, 2001).

Apesar de todos os avanços na aplicação de tecnologias pós-colheita, o tomate ainda apresenta altas taxas de perdas pós-colheita. Essas perdas são causadas por injúrias mecânicas, armazenamento, manuseio e transporte impróprios e longos períodos de exposição no varejo. Em vista disso, a aplicação de revestimentos lipídicos, poderia resultar em reduções na perda de massa e na manutenção da qualidade do fruto (ASSIS; BRITTO, 2014) beneficiando toda a cadeia produtiva do tomate, desde o produtor até o consumidor final.

A proteção que a cutícula das células epidérmicas de um fruto fornece, em geral é danificada durante as etapas de beneficiamento, lavagem e polimento, podendo ser

reconstituídas com a aplicação de ceras. Estas, aplicadas na forma de aspersão ou imersão, reduzem a perda de água e conferem brilho ao produto (WILLS et al., 2004). Sendo assim, a aplicação de cera de carnaúba pode ser utilizada como uma alternativa importante na conservação pós-colheita de frutos em geral, incluindo o tomate, que foi objeto de estudo deste trabalho.

A manutenção da qualidade pós-colheita de produtos por meio de tecnologias inovadoras tem sido desejável, visando à diminuição das perdas pós-colheita. Este trabalho teve como proposta a obtenção de revestimentos hidrofóbicos nanoestruturados utilizando como matriz cera de carnaúba, um produto nacional de baixo custo e de uso intensivo na pós-colheita de frutas e hortaliças.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo principal desse trabalho foi elaborar e caracterizar revestimentos convencional e nanoestruturado de cera de carnaúba para conservação da qualidade pós-colheita de tomate ‘Débora’ e ‘Pizzadoro’. Dessa forma, esta pesquisa visou contribuir no conhecimento da síntese e aplicação de revestimentos nanoestruturados para uso em frutas e hortaliças, que permitam a manutenção da qualidade dos produtos. Considerando que o Brasil está entre os países com as maiores porcentagens de perdas pós-colheita e desperdícios, o uso de tecnologias adequadas pode auxiliar na minimização e para oferecimento de um produto de qualidade.

2.1 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos destacam-se:

- i) Síntese de emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba.
- ii) Caracterização da nanoemulsão contendo nanopartículas de cera de carnaúba e da emulsão convencional do mesmo material.
- iii) Avaliar a qualidade física e química de tomates revestidos com nanoemulsão de cera de carnaúba e com emulsão convencional, durante o armazenamento.
- iv) Avaliar aceitação, intenção de compra e preferência para tomates ‘Débora’ revestidos com nanoemulsão de cera de carnaúba e emulsão convencional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cultura do tomate

O tomateiro (*Solanum lycopersicum L.*), anteriormente denominado *Lycopersicon esculentum*, é uma das hortaliças mais consumidas e apreciadas mundialmente, sendo originário da parte ocidental da América Central e América do Sul, das regiões andinas do Peru, Bolívia e Equador (EMBRAPA, 1993). No século XV foi levado ao México, onde foi domesticado e introduzido na Europa. Foi trazido ao Brasil na época da colonização, porém seu cultivo só teve grande expansão após fluxo das imigrações nas regiões sudeste e sul. De acordo com o Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura (PBMH, 2003), a partir de 1970 o cultivo do tomateiro expandiu sua fronteira para todos os estados.

A produção nacional em 2013 foi de 4,1 milhões de toneladas, apresentando uma área plantada de 57.196 mil hectares, com cerca de 65% destinados para o consumo *in natura* e 35% ao processamento industrial. O atual consumo per capita do tomate está em torno de aproximadamente 18 kg/ano, o que representa um aumento no consumo em torno de 35% nos últimos 10 anos (IBGE, 2014; FAOSTAT, 2015). Em 2013 o Brasil ocupou a oitava posição entre os maiores produtores mundiais de tomate, mercado este liderado pela China, seguido dos Estados Unidos, Índia e Turquia (FAOSTAT, 2015).

O Paraguai é o país que mais importa frutos de origem brasileira, e a Argentina, país que mais exporta tomates para o Brasil. A produção brasileira de tomates está concentrada na região do sudeste, a qual produz 1,6 milhões de toneladas, enquanto a região norte é a que produz frutos em menor quantidade (6,9 mil toneladas no ano de 2011), (AGRIANUAL, 2014).

Tomates são caracterizados como frutos climatéricos iniciando o amadurecimento da porção distal, às regiões vizinhas até que o processo de maturação envolva todo o fruto (REID, 1994).

O fruto *in natura* é muito sensível a manipulação, armazenamento e condições de transportes inapropriados e, portanto, manejos durante a colheita e pós-colheita são determinantes na qualidade do produto, ofertado ao mercado consumidor (YAHIA et al., 2005).

O ponto no qual os frutos são colhidos é um fator importante, pois ele determina a vida pós-colheita e o processo de amadurecimento, influenciando diretamente a qualidade do

produto que chega ao consumidor final (MOURA; SARGENT; OLIVEIRA, 1999). Em tomates *in natura* a qualidade é determinada pela aparência (cor, aspecto visual), firmeza, *flavour* e valor nutritivo (ARTÉS; SÁNCHEZ; TIJSKENS, 1998).

Mudanças na qualidade de tomates durante o amadurecimento têm sido estudadas por meio de parâmetros como tamanho, perda de massa, textura, acidez, teor de sólidos solúveis totais, coloração, teor de licopeno, aparência e sabor (FERREIRA, 2004).

A perda de vapor de água dos frutos ocorre majoritariamente por transpiração, como consequência do coeficiente do déficit de pressão de vapor (DPV - diferença entre pressão de vapor dos espaços intercelulares do produto e ar circulante) e do coeficiente de transpiração (CT - perda de umidade de um produto em uma unidade de tempo por DPV), (KLUGE; MINAMI, 1997; WOODS, 1990). Partindo desse princípio, quanto maior a diferença entre a pressão de vapor dos espaços intercelular circulante maior será a perda de água pelo produto, uma vez que ela é dependente da temperatura e da umidade relativa do ar. Quanto se tem mesma umidade relativa do ar, a perda de água é maior em temperatura mais alta, enquanto que para temperaturas iguais, a perda de água é maior em umidade relativa mais baixa (CORTEZ; HONÓRIO; MORETTI, 2002; KLUGE; MINAMI, 1997).

Em temperatura ambiente, a umidade do ar é menor do que a do fruto, o que aumenta o DPV, favorecendo a perda de água para o ambiente (CORTEZ; HONÓRIO; MORETTI, 2002; KLUGE; MINAMI, 1997), de modo que em circunstância contrária tomates armazenados em alta umidade relativa (98%) têm menor redução de peso (BHOWMIK; PAN, 1992).

A perda de massa em função dos processos transpiratórios e respiratórios pode ocasionar o murchamento e diminuição da qualidade dos frutos, reduzindo sua aceitação comercial (KLUGE; MINAMI, 1997). Portanto, minimizar a perda de massa do produto é importante não apenas para evitar perdas econômicas, mas também para manter o produto em condições de comercialização.

Outro parâmetro importante na qualidade dos frutos é a firmeza, a qual diminui ao longo do tempo em decorrência de mecanismos de amadurecimento dos tomates. As mudanças nesse parâmetro estão associadas ao metabolismo de carboidratos da parede celular, pois à medida que o fruto começa a atingir sua maturidade, as substâncias pécticas se solubilizam levando ao amaciamento da polpa (FERREIRA, 2004).

A acidez titulável total é um importante parâmetro para averiguar a condição de conservação de um produto alimentício. Em geral o processo de decomposição do alimento

(hidrólise, oxidação ou fermentação) modifica a concentração de H^+ (IAL, 1985), e consequentemente sua acidez. Os ácidos orgânicos são produtos intermediários do metabolismo respiratório dos frutos e por isso relevante do ponto de vista de conferir flavour, sabor, odor, estabilidade e a manutenção da qualidade do produto (OLIVEIRA et al., 1999).

Os teores de sólidos solúveis totais (SST) são usados como indicadores do grau de amadurecimento do fruto (CECCHI, 1999). Envolve todos os compostos solúveis em água como açúcares, ácidos e algumas pectinas (MOURA; SARGENT; OLIVEIRA, 1999; OLIVEIRA et al., 1999).

O *ratio* ou índice de maturação é a razão entre SST/ATT, indica o sabor do tomate e é um parâmetro importante na avaliação da qualidade sensorial dos produtos, uma vez que determina a decisão de compra pelo consumidor (GUNDUZ; OZDEMIR, 2014).

A coloração dos frutos é um dos atributos de qualidade determinantes da preferência dos consumidores por tomates frescos (BATU, 2004). A classificação de cor relacionada aos estádios de amadurecimento tem sido realizada há anos e indica que o valor de a^* , varia de $-a^*$ verde para $+a^*$ vermelho), é um bom parâmetro para avaliação do desenvolvimento da cor vermelha (ARTES, et al., 1999). As modificações que ocorrem na coloração da casca durante o amadurecimento são devido aos processos degradativos e de síntese que acontecem simultaneamente (CHITARRA; CHITARRA, 2005), sendo uma das características mais associadas ao ponto de colheita e maturidade para consumo. A cor vermelha é consequente da degradação da clorofila, produção de licopeno e outros carotenóides, bem como cloroplastos convertidos em cromoplastos (FRASER et al., 1994). A luminosidade que varia de 100 a 0, do branco ao preto, é um parâmetro que auxilia na visualização destas alterações, uma vez que a sua diminuição durante o amadurecimento reflete o escurecimento dos tomates, devido a síntese de carotenóides e a perda da cor verde (ARIAS et al., 2000).

A capacidade de armazenamento de frutas e hortaliças, assim como a manutenção de sua qualidade pós-colheita, depende de diversas reações metabólicas, as quais são influenciadas pela temperatura, transpiração e concentração de gases na atmosfera, como CO_2 , O_2 e etileno. A respiração é o principal processo fisiológico envolvido na fisiologia dos vegetais (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007), sendo assim a avaliação da composição em tomates é de extrema relevância.

No início do amadurecimento, a taxa de respiração do tomate se eleva levando a diversas transformações físicas e químicas (KLUGE; MINAMI, 1997) caracterizadas por modificações fisiológicas e bioquímicas nos frutos (degradação do amido; produção de

glicose e frutose; diminuição de clorofila; síntese de carotenóides e licopeno; aumento na produção de etileno e pectinas solúveis) (FACHIN, 2003; FERREIRA, 2004).

Portanto, o estudo do desenvolvimento e comportamento fisiológico em tomates é importante na obtenção de dados que permitam gerir as condições de armazenamento, visando à manutenção da qualidade pós-colheita desses frutos e o retardo dos processos que levam à maturação e senescência.

3.2. Revestimentos Comestíveis

A aplicação de ceras auxilia na redução das perdas pós-colheita, em especial quando realizada em conjunto com outras práticas, como seleção de variedades, manuseio e beneficiamento adequado, controle de doenças na pós-colheita e operações de embalagens apropriadas no armazenamento (ASSIS et al., 2008).

As frutas e hortaliças são tecidos vivos, que apresentam em média 90% de água em peso, porém quando perdem a camada protetora natural da epiderme, a água começa evaporar rapidamente e os produtos adquirem aspecto desidratado, perdendo a qualidade visual. Em vista disso, a reposição da camada protetora por meio de recobrimento da superfície de frutos tem sido utilizada para reduzir a perda de água, difusão de gases; perda de sabores e aromas, propiciando a manutenção da qualidade física e química (SALTVEIT, 1997).

As coberturas comestíveis são aplicadas em finas camadas de material sobre os alimentos, na forma de gel, por imersão ou pulverização. Após a evaporação do solvente, uma fina película sobre a superfície é formada (CARVALHO FILHO, 2000).

Esses revestimentos devem apresentar as seguintes características: fácil mistura e aplicação, adesão e estabilidade na superfície do produto, transparência, atóxicas, não conferem sabor, não possuem propriedades de textura que possam prejudicar a qualidade do produto e evitar o crescimento de microrganismos (ASSIS; FORATO, 2007; BALDWIN; NISPEROS-CARRIEDO; BAKER, 1995). Na Tabela 1, é mostrado um resumo dos principais materiais utilizados em revestimento de frutas e hortaliças e seu princípio de ação.

Tabela 1: Materiais usualmente empregados como revestimentos e suas principais ações. Fonte: Assis et al. (2008).

Recobrimento	Principal ação
Alginato	Redução das perdas de água
Caseína/Monoglicérido acetilado Monoglicérido de ácido graxo	Barreira a gases, manutenção da cor
Amilose/amilopectina	Barreira a gases; melhora da cor e da firmeza; ação antifúngica
Zeínas	Barreira a gases; redução de perdas de água, ação antimicrobiana e manutenção da firmeza
Pectina	Barreira a gases; ação antifúngica, manutenção da firmeza
Lipídeos	Barreira a gases; redução de perdas de água
Carboximetilcelulose (CMC)	Barreira a gases, manutenção da cor
Albúmen do ovo	Manutenção da cor e redução do escurecimento
Proteína do soro do leite	Barreira a gases; redução de perdas de água; manutenção da cor
Proteínas de soja	Barreira a gases; redução de perdas de água; manutenção da firmeza
Cera de carnaúba	Barreira a gases; redução de perdas de água; diminuição da desidratação superficial
Cera de abelhas	Barreira a gases; redução de perdas de água; diminuição da desidratação superficial
Quitosana	Ação antimicrobiana; manutenção da cor e redução do escurecimento
Goma xantana	Redução de perdas de água, diminuição da desidratação superficial
Carragenato	Redução de perdas de água

Segundo Carvalho Filho (2000), os revestimentos comestíveis devem ser seguros à saúde do consumidor, estar de acordo com as boas práticas de fabricação e dentro das exigências especificadas pela legislação vigente. No caso das frutas e hortaliças cuja casca é consumida, como a maçã e o tomate, podem ser utilizados ceras comestíveis de origem vegetal como de carnaúba enquanto que em frutos nos quais não se consome a casca, como a laranja e a manga podem ser aplicadas ceras sintéticas.

De forma geral as coberturas comestíveis podem ser classificadas em hidrofílicas e hidrofóbicas. As hidrofílicas são aquelas processadas a partir de materiais caracterizados por elevada afinidade com a água, devido à predominância de grupos polares como as hidroxilas e amino em sua estrutura. Os grupos amino são formados por ligações covalentes (N-H), onde a eletronegatividade das ligações gera sítios de elevada polaridade, tornando favorável o rearranjo e o estabelecimento de moléculas de água em torno desses sítios (ASSIS; SILVA, 2003). Já os revestimentos hidrofóbicos são geralmente à base de lipídeos ou proteínas e são mais eficientes como barreiras controladoras a gases e a umidade (HARDENBURG, 1967).

Lipídios são biomoléculas de baixa solubilidade em água, sendo, portanto solúveis em solventes não-polares. São compostos que têm uma cadeia de hidrocarbonetos ligada à um grupo acil graxo como estrutura básica, esquematicamente representada como R-COOH. As ceras são misturas complexas de lipídeos não-polares e demais carboidratos, e podem ser classificadas, de acordo com a sua origem: (1) origem animal: cera de abelha, cera de espermacete, cera de shellac; (2) origem vegetal: cera de carnaúba, cera de candelilla, cera de cana de açúcar, cera de palma; e (3) origem mineral e sintética: cera montânica e cera de polietileno (ASSIS et al., 2008).

Esses revestimentos são efetivos controladores para o vapor de água e adequados para conferir brilho aos frutos, porém é pobre quanto à resistência estrutural, sendo comum a necessidade de adição de plastificantes (HARDENBURG, 1967; SCRAMIN et al., 2007).

3.3. Mecanismos de ação dos revestimentos

Após a colheita de um fruto, há uma interrupção no balanço gasoso do mesmo, ocorrendo uma alta entrada de O₂ e perda do CO₂. Nesta nova condição de atmosfera interna o processo mitótico é estacionado e a respiração celular aumenta (em frutos climatéricos), gerando uma queda metabólica que leva a um gradual amadurecimento (ASSIS et al., 2008).

Aplicando um revestimento na epiderme do fruto, realiza-se o preenchimento parcial dos estômatos e das lenticelas, reduzindo a transferência de umidade e as trocas gasosas. O início do amadurecimento está ligado ao aumento na produção de etileno e considerando que O₂ é necessário para a sua produção, uma redução da permeação de O₂ para o dentro do fruto causará redução na produção de etileno (QI; WU; WATADA, 1999), podendo prolongar a conservação do fruto (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007).

Todavia, uma redução expressiva de O₂ pode ativar vias de respiração anaeróbica, resultando, ao longo do tempo, aumento no metabolismo anaeróbico, como fermentação (SOLOMOS, 1997).

Já a desidratação superficial que ocorre pela saída de vapor de água para o meio circundante pode ser controlada com a aplicação de ceras e substâncias hidrofóbicas (BALDWIN; NISPEROS-CARRIEDO; BAKER, 1995).

3.4. Revestimentos de cera de carnaúba

A cera de carnaúba é um produto natural extraído da carnaubeira (*Copernifera Cerifera*), espécie natural do nordeste brasileiro, e tem sido aplicada sobre frutos e hortaliças desde a década de 1930 com o propósito de minimizar a perda de umidade, reduzir a abrasão da superfície do fruto durante o seu manuseio, melhorar a integridade mecânica e controlar a composição gasosa interna dos frutos (LIN; ZHAO, 2007).

A cera de carnaúba possui uma estrutura lipídica complexa, tendo como principal componente, segundo análises realizadas por Vandenburg e Wilder (1970), o éster de melissil ceronato (38- 40%), seguido de diésteres p-idroxicinâmico alifático (20-23%); ésteres Z-hidroxi-alifático (12-14%); álcoois mono-hídricos (10-12%); diésteres p-metoxicinamato alifático (5-7%) e demais combinações de hidrocarbonetos (5-7%). O teor de ésteres, que são os principais constituintes desta cera, pode chegar a 85%, sendo ácidos graxos de cadeia longa ligados a álcoois graxos de cadeia longa (Figura 1).

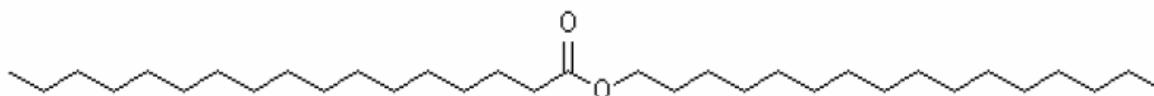


Figura 1. Estrutura química de um éster de cera. Fonte: Christie (2009) In: Rossan (2011).

A cera de carnaúba é extremamente dura, quebradiça, possui ponto de fusão entre 83 e 86°C (ROSSAN, 2011) e é classificada de acordo a coloração e qualidade pela Instrução Normativa SARC N° 10 (11 de dezembro de 2002) em cinco tipos:

Tipo 1- cera de cor branca e/ou amarelo claro, denominada flor ou olho (obtida das folhas jovens da carnaubeira), contém no máximo 1% de impurezas e até 2% de umidade. Geralmente usada em indústrias farmacêuticas, cosméticas, alimentícias e em emulsões.

Tipo 2- cera de cor amarela, acinzentada e/ou esverdeada, denominada mediana ou mediana clara (proveniente de folhas adultas), contém no máximo 1% de impurezas e até 2% de umidade. É utilizada em tintas de impressoras e códigos de barra.

Tipo 3- cera de cor castanho claro, castanha, amarela e ou esverdeada, vulgarmente denominada cauipe ou gorda clara, contém no máximo 2% de impurezas e de umidade. É utilizada, em tintas, vernizes e cera para polimentos.

Tipo 4- cera castanho escura, verde escura e/ou quase preto, comumente chamada de gorda escura ou gorda batida, contém no máximo 2% de impurezas e de umidade. É empregada na fabricação de papel carbono.

Tipo 5- cera de cor esbranquiçada, acinzentada e/ou esverdeada, usualmente nomeada arenosa, contém no máximo 2% de impurezas e até 6% de umidade.

Comercialmente as emulsões de cera de carnaúba, são encontradas com nomes fantasia e em diferentes concentrações como: Aruá, Citrosol, Meghwax, Cleantex, Carbin, Ceraflor, Fruit wax, Citrine, entre outros (ASSIS et al., 2008).

A cera de carnaúba é reconhecida como substância segura ao consumo humano (BRASIL, 2007). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) permite a adição de cera de carnaúba em embalagens destinadas a entrar em contato com alimentos ou matérias-primas para alimentos através da resolução nº 123, de 19 de junho de 2001 (BRASIL, 2001).

A aplicação comercial de cera de carnaúba em tomate de mesa proporciona melhor conservação pós-colheita, prolongando sua vida útil, com a redução na perda de massa e manutenção da aparência externa. Chiumarelli e Ferreira (2006) avaliaram o efeito de diferentes coberturas comestíveis na qualidade pós-colheita do tomate de mesa, cultivar Débora. Foram aplicadas cera de carnaúba Fruit Wax H2 (18%), emulsão de resinas Fruit Wax M-AC (18%) e cera de carnaúba Megh Wax ECF-124 (18%), em frutos previamente limpos, sendo após a aplicação, armazenados a 12,5°C e 25°C (90% UR). Os autores relataram que o tratamento com Megh Wax ECF-124 proporcionou menor perda de massa, frutos mais firmes em ambas as temperaturas e foi mais eficiente na manutenção da qualidade dos tomates. A aplicação de cera contribuiu para uma diminuição na perda de massa e menor número de frutos descartados.

A cera de carnaúba também tem se mostrado eficiente na manutenção da qualidade de maracujás-amerelo (MOTA, 1999), mangas (HOA et al., 2002), goiabas (OJEDA, 2001) e maçãs (BAI; BALDWIN; HAGENMAIER, 2002).

Chiumarelli e Hubinger (2014) verificaram que os revestimento contendo 3% (p/p) de amido de mandioca, 1,5% (p/p) de glicerol, 0,2% (p/p) de cera de carnaúba e 0,8% (p/p) de ácido esteárico em água, apresentaram matriz coesa e resultaram em melhores propriedades mecânicas, de barreira à troca de umidade e gás, quando aplicados em maçãs minimamente processadas.

Liang et al. (2012) desenvolveram uma nanoemulsão a base de amido modificado e óleo de hortelã-pimenta, e relataram que ela mostrou potencial para aumentar a vida pós colheita de produtos alimentícios, devido a sua atividade antibacteriana prolongada.

Jo et al. (2014) aplicaram cera de carnaúba-shellac contendo óleo essencial de *lemongrass* em maçãs e relataram que ela contribui para menor perda de massa, porém sem alterar a firmeza durante o armazenamento. Além disso, promoveu a manutenção da acidez titulável e dos teores sólidos solúveis, reduziu a população de bactérias aeróbias e inibiu o crescimento de bolores e leveduras.

A cera de carnaúba pode ser extensivamente utilizada para formação de revestimentos convencionais e nanoestruturados. Diferentes formulações, concentrações e aditivos podem ser estudados, otimizando a viscosidade da matriz e favorecendo suas propriedades mecânicas, térmicas e de barreira, além de prover caráter antimicrobiano e antifúngico a esses revestimentos inertes, que não apresentam atividade antimicrobiana. Nesse contexto, o uso de tecnologias já conhecidas na área de revestimentos deve se aliar com a nanotecnologia, a qual se mostra uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de novos materiais para a indústria alimentícia aplicados a manutenção da qualidade de frutas e hortaliças.

A nanotecnologia é o termo empregado para estudo, manipulação e aplicação dos materiais em escala nanométrica (entre 1 e 100 nm). A habilidade de medir, manipular e organizar a matéria em nanoescala e os fenômenos apresentados pelos materiais nanoestruturados são descobertas científicas importantes que apontam possíveis avanços na ciência (DURÁN et al., 2006).

O desenvolvimento de coberturas comestíveis é foco de estudos, com interesse em aumentar a estabilidade de alimentos e reduzir a quantidade de lixo gerada pelo descarte de embalagens inorgânicas (THARANATHAN, 2003). Em geral, há duas vantagens no uso de coberturas diretamente depositadas em frutas e hortaliças: películas de espessura nanométrica podem manter as propriedades sensoriais do fruto; e ainda, no processo de deposição, estes revestimentos podem ser carregados com nanopartículas com a capacidade de conferir propriedades como ação bactericida, fungicida, além de melhorar a estabilidade mecânica da superfície.

Apesar da cera de carnaúba ser extensivamente utilizada para formação de coberturas convencionais, este composto foi pouco estudado para formação de revestimentos

nanoestruturados, quando comparado à coberturas a base de polissacarídeos, como a quitosana (BRITTO; ASSIS, 2007; MOURA et al., 2009).

No entanto, o uso de revestimentos comestíveis é limitado por suas propriedades mecânicas e de barreira as quais, geralmente são pobres se comparadas às dos polímeros sintéticos. As características mecânicas desejáveis em um revestimento são a formação de revestimentos contínuos, com poucas falhas ou sua ausência; além de plasticidade das películas formadas, pois ao longo do tempo os frutos sofrem redução de sua massa necessitando de materiais que se ajustem a nova condição.

De modo geral, a introdução de nanopartículas em uma matriz polimérica pode promover, principalmente, melhoras nas propriedades mecânicas (resistência à tração e ruptura) e de barreira (permeabilidade a gases e a vapor d'água) e pode atuar, dependendo da composição, como agente antimicrobiano, com benefícios de qualidade e segurança do alimento (BELBEKHOUCHE et al., 2011; WANG et al., 2007).

3.5. Emulsões

As emulsões são sistemas que contém uma fase dispersa e uma fase dispersante, e podem ser classificadas de acordo com a organização espacial das fases oleosas e aquosas. Um sistema de gotículas de óleo dispersas dentro de uma fase aquosa é nomeado como uma emulsão óleo em água (O/W do inglês *oil-in-water*), enquanto um sistema que consiste em gotas de água dispersas numa fase de óleo é classificado como uma emulsão água-em-óleo (W/O). O composto das gotículas é normalmente chamado como fase dispersa, já o líquido circundante das gotículas é denominado como a fase contínua. As partículas em uma emulsão O/W possuem uma estrutura do tipo núcleo-invólucro, como representado esquematicamente na Figura 2, com um núcleo lipídico e escudo feito de material tensoativo (McCLEMENTS; RAO, 2011).

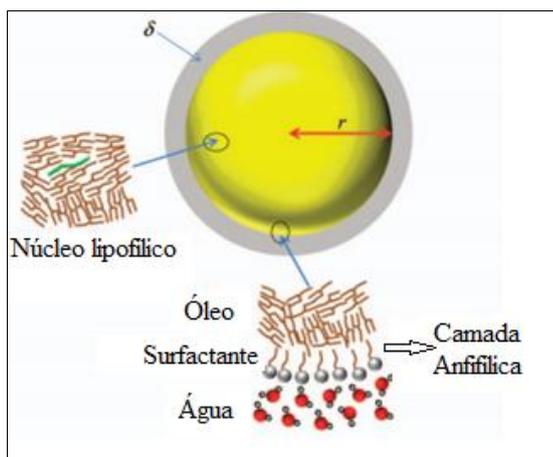


Figura 2. Representação esquemática de partículas em nanoemulsões: uma casca de material anfifílico normalmente engloba um núcleo de material lipofílico. O material lipofílico pode conter uma variedade de diferentes moléculas não-polares. Fonte: McClements; Rao (2011).

3.5.1. Nanoemulsões e emulsões convencionais

Nanoemulsões apresentam uma formulação específica que as caracterizam como ótimos sistemas para a distribuição de alguns compostos lipofílicos e bioativos. Muito se discute a respeito de nanoemulsões em produtos cosméticos e farmacêuticos, devido à propriedade de nanoencapsulamento de óleo, a qual se torna responsável por carregar os compostos lipofílicos bioativos (vitaminas, carotenóides, co-enzima) que serão posteriormente liberados.

O pequeno tamanho das partículas em nanoemulsões (raio < 100 nm) atribui potenciais vantagens em relação às emulsões convencionais, como maior estabilidade em relação à agregação das partículas e separação gravitacional (TADROS et al., 2004), além de alta transparência óptica, modificação da textura dos produtos, e de aumento da biodisponibilidade de compostos lipofílicos (McCLEMENTS; RAO, 2011).

As emulsões convencionais contêm partículas com raio médio entre 100 nm e 100 μ m, sendo termodinamicamente instáveis, ou seja, a energia livre das fases de óleo e água separadas é menor que a da emulsão. Portanto, estas tendem a quebra ao longo do tempo e são turvas ou opacas, porque as suas gotículas têm dimensões semelhantes ao do comprimento de onda da luz visível, ocasionando a dispersão da luz (McCLEMENTS; RAO, 2011).

As nanoemulsões são emulsões que contêm partículas com raio entre 10 a 100 nm (MASON et al., 2006; TADROS et al., 2004; McCLEMENTS; RAO, 2011), podendo ser transparentes ou ligeiramente turvas, uma vez que o tamanho da partícula é muito pequeno se

comparado com o comprimento de onda da luz ($r \ll \lambda$). Devido a isto, as nanoemulsões também têm uma estabilidade muito melhor em relação à separação gravitacional e a agregação que as emulsões convencionais (TADROS et al., 2004; WOOSTER et al., 2008; McCLEMENTS; RAO, 2011).

Por outro lado tal qual as emulsões convencionais, são sistemas termodinamicamente desfavoráveis, devido à maior energia livre associada com a criação de uma interface entre as fases de óleo e de água, em decorrência do efeito hidrofóbico da fase óleo. Sendo assim, as nanoemulsões são conhecidas como sistemas metaestáveis (McCLEMENTS; RAO, 2011).

3.5.2. Tensoativos

Devido à alta instabilidade das emulsões, a manutenção da fase dispersa sob a fase contínua depende da presença de adjuvantes como substâncias tensoativas com propriedades emulgentes ou agentes emulsionantes, que formam uma película interfacial proporcionando aumento da estabilidade física e manutenção das fases interna e externa (AZZINI, 1999; RIBEIRO, 2002; SILVA; SOARES, 1996). De acordo com Ayannides e Ktistis (2002), o processo de dispersão é possível, devido à adição de tensoativos, que mantêm a estabilidade criando uma camada hidratada nas partículas hidrofóbicas em emulsões O/W (Figura 3).

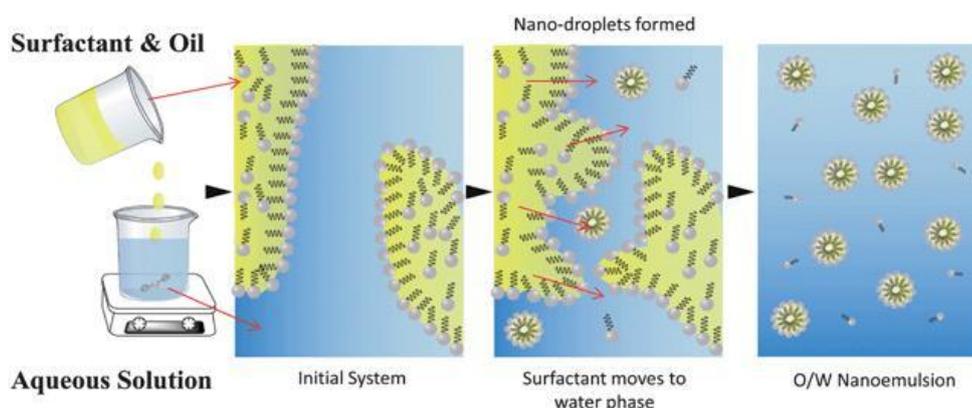


Figura 3. Representação esquemática de formação de uma nanoemulsão. Fonte: McClement; Rao (2011).

Os agentes emulsionantes denominados de anfífilicos, são constituídos por uma parte polar (hidrofílica) e uma parte apolar (lipofílica), que atuam reduzindo a tensão superficial. Essa estrutura anfífilica na presença de água e óleo se orienta de modo a residir preferencialmente na interface entre seus grupos orientados para as respectivas fases nas quais é solúvel (RIBEIRO, 2002; SILVA; SOARES, 1996). O tensoativo forma uma dupla camada

elétrica na superfície dos glóbulos, atuando como uma barreira elétrica que evitará a aproximação das partículas (SILVA; SOARES, 1996). Portanto, a escolha do tensoativo é de suma importância para a estabilidade da emulsão (AZZINI, 1999).

Para otimizar a escolha do tensoativo, o sistema de Balanço Hidrófilo-Lipófilo (HLB) foi desenvolvido, o qual representa o balanço do tamanho e força desses dois grupos e demonstra as propriedades hidrofílicas e lipofílicas de um composto anfifílico em uma escala numérica, atribuindo valores de HLB que são maiores à medida que a substância é mais hidrofílica. (PRISTA, 1981; FOX 1986; SILVA; SOARES, 1996).

No processo de emulsificação o comportamento do emulsificante é determinado pela razão entre estes dois grupos, determinando sua aplicação. Os tensoativos com valores menores de HLB são recomendados para emulsões A/O e com valores intermediários para O/A (AZZINI, 1999; SILVA; SOARES, 1996).

Os tensoativos são classificados também de acordo com suas características elétricas em: iônico, não-iônico e zwitteriônico (McCLEMENTS, 2004):

a) tensoativos iônicos: são a maioria dos tensoativos alimentícios e podem ser usados para formar nanoemulsões por vários métodos de baixa e alta energia. Podem causar irritabilidade e tendem a ter sua utilização limitada (SOLEÈ et al., 2006).

b) tensoativos não-iônicos: possuem baixa toxicidade e irritabilidade, podendo ser utilizados nos métodos de alta e baixa energia. Pode-se citar como exemplos: sorbitano, monopalmitato de sacarose, éter polioxietileno, ésteres de sorbitano etoxilados (Tweens e Spans) (JAFARI; HE; BHANDARI, 2007; LIU et al., 2006).

c) tensoativos zwitteriônicos: contém dois ou mais grupos ionizáveis de carga oposta em uma mesma molécula, e por isso, podem ter carga negativa, positiva ou neutra dependendo do pH da solução. Exemplo desse grupo é a lecitina, fosfolipídio utilizado em alimentos.

3.5.3. Produção de Emulsões

As emulsões são sistemas não estáveis e para a sua concepção precisam de energia a partir de equipamentos mecânicos ou então a partir de propriedades físicas e químicas do sistema. Os procedimentos usando energia mecânica são chamados de alta energia, e empregam equipamentos como homogeneizadores de alta pressão, microfluidizadores e geradores de ultrassom (McCLEMENTS, 2011). Já os métodos que empregam as

propriedades físicas e químicas do sistema são caracterizados pela baixa energia, tais como: emulsificação espontânea e inversão de fase por temperatura ou pela composição (SOLANS et al., 2005; TADROS et al., 2004; McCLEMENTS, 2011).

Nos métodos de alta energia o tensoativo facilita a quebra das gotículas no interior do homogeneizador por meio da diminuição da tensão interfacial, privilegiando assim a formação de gotículas ainda menores. Já no método de baixa energia, o tensoativo promove a formação espontânea de pequenas gotículas, em consequência da sua habilidade de gerar tensões interfaciais muito baixas em certas condições. O tensoativo empregado é de extrema importância, uma vez que a estabilidade das emulsões em relação ao pH, força iônica, aquecimento, resfriamento e armazenamento é predominantemente determinado pelo tipo de molécula anfifílica utilizada (McCLEMENTS, 2011).

Para formar nanoemulsões pelos de métodos de alta energia é necessário promover uma taxa de cisalhamento capaz de deformar a partícula. Frequentemente, essa taxa é alcançada por meio de homogeneizadores de alta pressão, pois a utilização de alta energia gera forças que podem romper as gotas da fase dispersa (KOURNIATIS et al., 2010; TADROS et al., 2004).

Homogeneizadores de alta pressão (Figura 4) consistem de um gerador de alta pressão, e de um dispositivo de interação, onde o líquido processado passa sob alta pressão por uma seção convergente e então se expande (MARIE; PERRIER-CORNET; GERVAIS, 2002; MCCLEMENT, 2011; TADROS et al., 2004).

Portanto, a emulsificação por processamento em homogeneizadores de alta pressão é considerada um método de alta energia para o desenvolvimento de nanoemulsões. As forças de cisalhamento são capazes de reduzir o tamanho das partículas para a escala nano e ainda permitem que estas se estabilizem por mais tempo quando comparadas às emulsões convencionais.

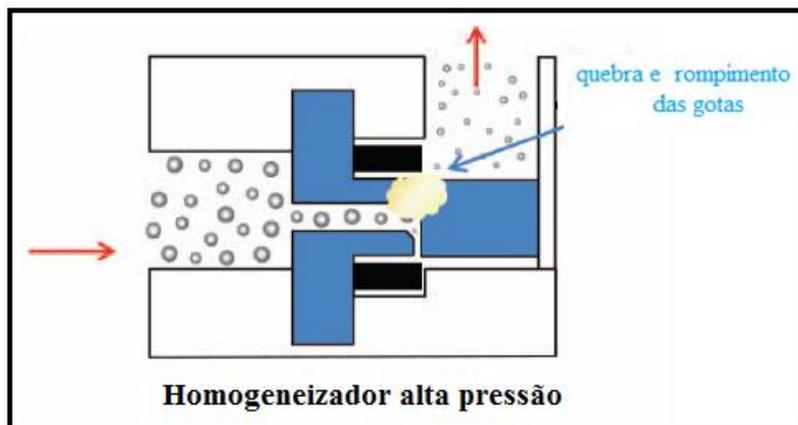


Figura 4. Esquema de um homogeneizador alta pressão, dispositivo mecânico que pode ser utilizados para produzir nanoemulsões de grau alimentar usando uma abordagem de alta energia. Fonte: McClement (2011).

4. METODOLOGIA

4.1. Material

4.1.2. Fase oleosa

A fase oleosa foi composta por cera de carnaúba Tipo I, adquirida da empresa Pontes (Parnaíba, PI) e ácido oléico (PA- para análise) obtido da Sigma-Aldrich.

4.1.3. Fase aquosa

A fase aquosa foi composta por hidróxido de amônio (PA) obtido da Sigma-Aldrich; antiespumante (emulsão de silicone alimentícia) e água deionizada.

4.2. Métodos

4.2.1. Síntese de emulsão convencional de cera de carnaúba

A fase aquosa foi aquecida a 90°C em um reator aberto sob agitação mecânica de 100 rpm. Posteriormente, a fase oleosa aquecida a 100°C foi adicionada lentamente ao sistema. O alcalinizante foi adicionado sequencialmente sob agitação mecânica de 150 rpm, permanecendo nessa rotação por 10 minutos a 90°C e resfriado à temperatura ambiente por meio da serpentina interna de refrigeração do reator com fluido do banho ultratermostatizado a -11°C (Figura 5A). Esse método, com amônia, é descrito em detalhes por Hagenmaier e Baker (1994), sendo adaptado para este trabalho.

4.2.2. Síntese da nanoemulsão de cera de carnaúba (diâmetro de 40 nm)

A fase oleosa e o alcalinizante foram aquecidos a 120°C em um sistema fechado, alcançando 3 kg/cm² de pressão, sob agitação mecânica de 75 rpm durante 30 min. A fase aquosa aquecida a 95°C foi adicionada ao sistema por meio de uma bomba dosadora. A agitação mecânica foi aumentada até atingir 100 rpm, permanecendo nesta rotação por 20 minutos. Após esse período a emulsão foi resfriada até 90°C, abrindo-se o reator. A emulsão foi então submetida ao homogeneizador de alta pressão, operando a 400 bar de pressão mantendo-se a temperatura de 90°C e com retorno do produto ao reator. Após a passagem de toda a emulsão, realizou-se o choque térmico até o resfriamento completo (20-25 °C) por

meio da serpentina interna de refrigeração do reator com o fluido do banho ultratermostatizado a -11°C (Figura 5B). Esse método, com amônia, é descrito em detalhes por Hagenmaier e Baker (1994), sendo adaptado para este trabalho.

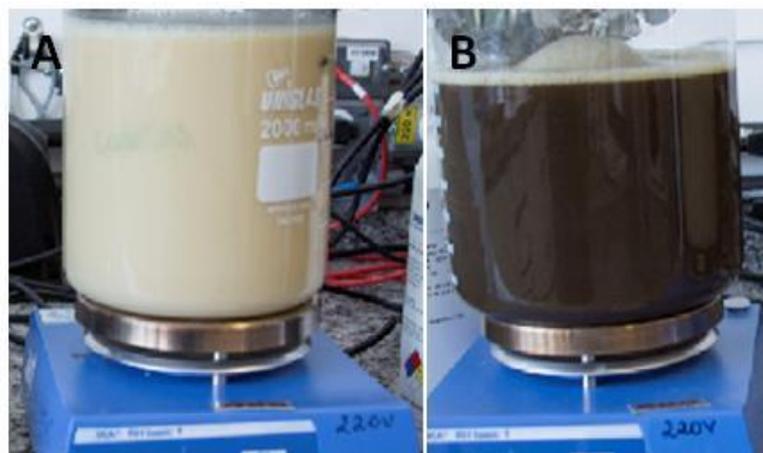


Figura 5. A) Imagem (fotografia) da Emulsão convencional de cera de carnaúba e B) nanoemulsão de cera de carnaúba.

4.2.3. Caracterização das emulsões de cera de carnaúba

4.2.3.1 Medidas de tamanho (diâmetro hidrodinâmico), potencial zeta (estabilidade coloidal) e índice de polidispersão

O analisador de partículas é um equipamento que tem como princípio a difração de luz laser. O raio de luz laser passa através da cubeta que contém a amostra, e as partículas dispersam a luz em feixes que dependem: do comprimento de onda empregado, das propriedades ópticas da amostra e da dimensão da partícula (ANVISA, 2004).

Tamanho hidrodinâmico, índice de polidispersão (PDI) e potencial zeta fornecem informações sobre a estabilidade de uma emulsão. (LEMARCHAND et al., 2003). O potencial zeta (ζ) é uma medida que indica a carga superficial das partículas, sendo que geralmente, valores em módulo acima de 30 mV demonstram estabilidade em suspensão, já que a carga da superfície da partícula impede a formação de aglomerados (MOHANRAJ; CHEN, 2006).

As medidas de tamanho (diâmetro hidrodinâmico), potencial zeta (estabilidade coloidal) e índice de polidispersão das amostras foram realizadas diluindo-se 1 mL de

emulsão em 100 mL de água deionizada e posteriormente avaliadas em analisador de partículas da Malvern Instruments-Zetasizer Nano ZS90 (Nano Series, Malvern Instruments Ltd, France), acoplado a um detector de ângulo fixo de 90° e 25 °C de temperatura. Distribuições de tamanho, polidispersão e potencial zeta foram determinadas e expressas como a média de cinco repetições (GÖRNER et al., 1999; VENKATRAMAN et al., 2005).

4.2.3.2. Análise morfológica

A análise morfológica das nanoemulsões foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) de alto vácuo (FEG-SEM JEOL JSM-6701F®), distribuindo-se uma gota da amostra em diferentes diluições em água deionizada (1:500; 1:1000 e 1:2000) sobre um substrato de silício, as quais foram secas em dessecador de policarbonato durante 24 h. As amostras foram fixadas em porta-amostra (*stub*) e recobertas com carbono em uma evaporadora *Sputter Coater*® SCD050 LEICA, com acessório para evaporação de carbono.

4.2.3.3. Ângulo de contato

A molhabilidade das películas sob o epicarpo de tomate (4×15mm) foi medida por meio do ângulo de contato formado entre a película e uma gota de água deionizada, de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2007), no sistema medidor de ângulo de contato CAM 101 (KSV, Finlândia) (Figura 6). O ângulo foi determinado pela média dos ângulos direito e esquerdo da gota nos tempos 20, 40 e 60 segundos (ASTM D7334-8). Estes ângulos foram calculados automaticamente por meio de *software*. As amostras (Tabela 2) foram fixadas em lâmina de vidro por meio de fita adesiva dupla face, colocadas na base do aparelho. Uma gota de água de 3 µL foi colocada sobre a superfície da amostra com auxílio de uma seringa e a imagem da gota foi captada por uma câmera digital durante 60 s com intervalos de 1 segundo. Os valores do ângulo de contato representam a média de três gotas.

Tabela 2. Amostras analisadas na medida de ângulo de contato.

Descrição das amostras	
1	Tomates ‘Débora’ revestidos com nanoemulsão 18%
2	Tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional 18%
3	Tomates ‘Débora’ sem revestimento

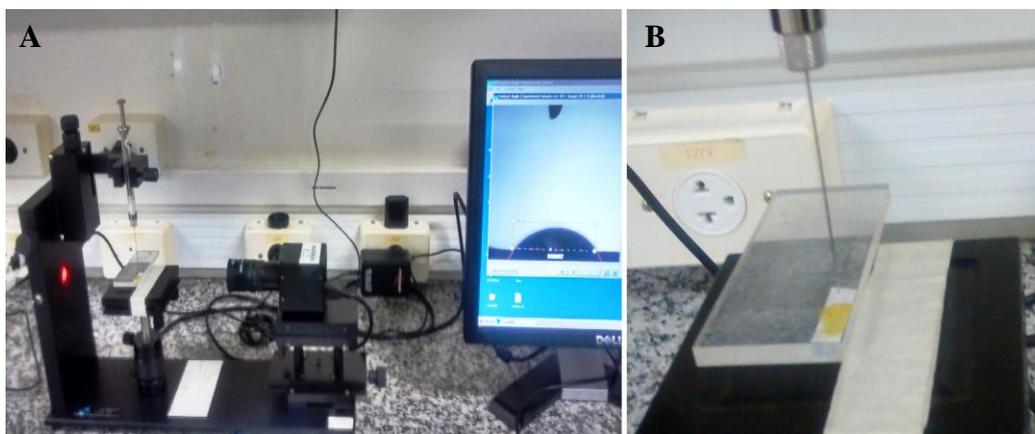


Figura 6. A) Sistema empregado para mensuração do ângulo de contato. B) Amostra de epicarpo de tomate fixado na lâmina.

4.2.3.4. Estabilidade das emulsões em diferentes ambientes ao longo do tempo

O teste de estabilidade foi realizado por meio de adaptações do método de Isaac et al. (2008). As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas e submetidas a diferentes ambientes: aquecimento em estufa a 45°C; resfriamento em geladeira a 5°C; ambiente com exposição à luz; ambiente protegido de luz e ciclando (um período de análise em cada ambiente descrito).

As amostras foram analisadas em relação aos valores de potencial zeta e viscosidade, medidos em triplicata e expressos como a média aritmética dos valores obtidos. O teste de estabilidade teve a duração de 60 dias, sendo a primeira avaliação realizada no tempo um (D1), que corresponde a 24 h após a produção. As análises foram posteriores realizadas nos tempos 7, 14, 21, 28, 45 e 60 dias após a síntese. As medidas de potencial zeta foram realizadas de acordo com o item 4.2.3.1.

As medidas de viscosidade foram realizadas em temperatura ambiente (24°C) em viscosímetro Brookfield, acoplado a banho termostatizado. Os valores de viscosidade foram expressos como valores médios, obtidos por triplicata de leitura.

4.2.4. Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates

Foram realizados três experimentos para avaliação da qualidade pós-colheita de tomates revestidos por emulsão de cera de carnaúba. Nos experimentos I e II (Tabelas 8 e 11), tomates ‘Débora’ e ‘Pizzadoro’, respectivamente, foram avaliados quanto aos parâmetros físicos e químicos, além da composição gasosa. No experimento III foi realizada a análise sensorial visual dos tomates revestidos com as emulsões, analisando parâmetros como aceitação, intenção de compra e preferência.

4.2.4.1. Experimento I: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações.

Frutos da cultivar *Débora* foram colhidos manualmente, em propriedade comercial localizada na cidade de São Carlos – SP, no estágio de maturação *breaker*, no qual os frutos apresentam cor diferente de verde em até 10% da superfície basal do fruto (USDA, 2015) (Figura 7). Tomates dessa cultivar se caracterizam por frutos de formato circular, cujo diâmetro varia de 65 a 70 mm (CEAGESP, 1998).

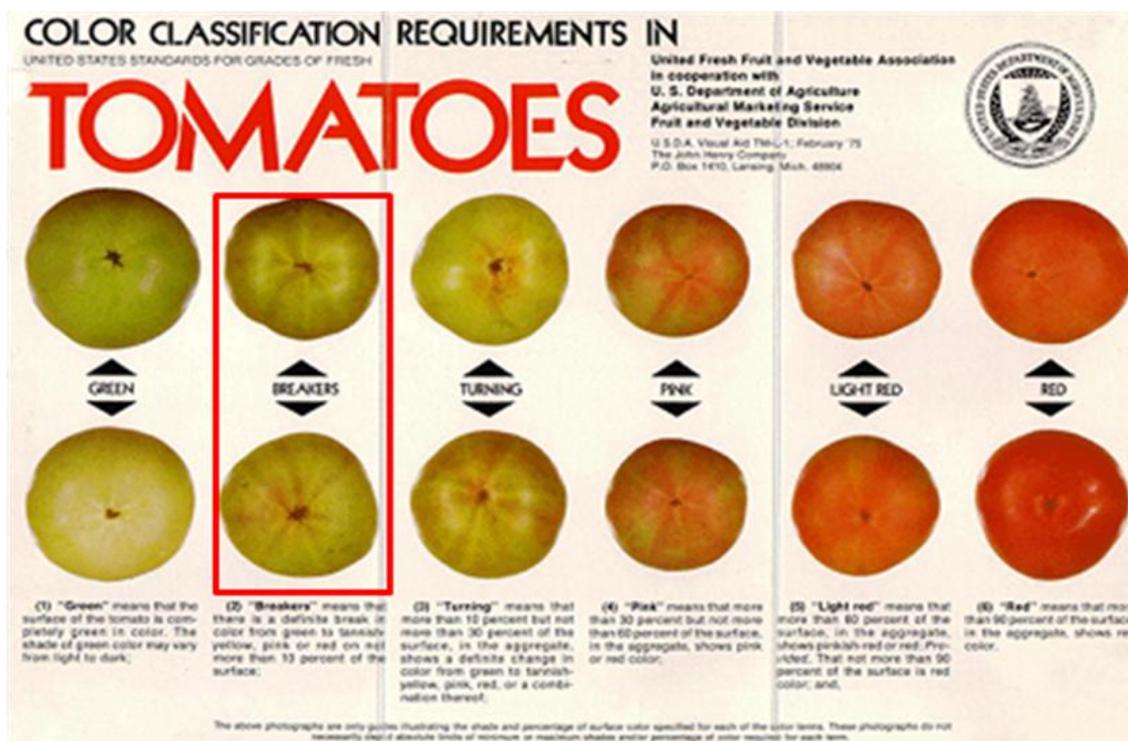


Figura 7. Classificação dos tomates quanto a cor de acordo com a USDA (2015).

Após a colheita, os tomates foram transportados, imediatamente, em caixas plásticas revestidas com plástico bolha à Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP, onde foram selecionados quanto à cor, tamanho e sanidade, buscando a padronização do lote. Na sequência os frutos foram lavados em água corrente para eliminação de resíduos provenientes do campo e imersos em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg L^{-1} , durante 15 minutos para desinfecção, e secos a temperatura ambiente (Figura 8). Em seguida, estes frutos foram distribuídos em 5 lotes. Um lote foi utilizado como controle (sem revestimento) e os outros revestidos com nanoemulsão de cera de carnaúba a 9% e 18% e com emulsão de cera carnaúba a 9% e 18%.

Os revestimentos foram aplicados através da imersão dos frutos na suspensão, durante 3 minutos, seguido de drenagem (Figura 9) e secos a temperatura ambiente sob copos plásticos de 50 mL com a inserção do pedúnculo para cima. Após 1 hora, os tomates foram virados com o pedúnculo para baixo, para melhor secagem da região distal dos frutos (Figura 10) e armazenados a $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (80% UR) por 16 dias, sendo avaliados quanto aos parâmetros físicos e químicos a cada três dias.

A determinação da atividade respiratória e da produção de etileno foi realizada nos dias 1, 4, 7, 10, 13 e 16. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5 (tratamentos) x 6 (dias de amostragem), totalizando 234 frutos para as análises físicas e químicas destrutivas; 45 frutos para análise de perda de massa e cor e 75 frutos para a atividade respiratória e produção de etileno, totalizando 354 frutos amostrados.



Figura 8. Fluxograma ilustrando etapas de colheita, lavagem e sanitização de tomates.



Figura 9. Fluxograma das etapas de revestimento e drenagem de tomates.



Figura 10. Etapas de secagem dos tomates revestidos.

4.2.4.2. Experimento II: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Pizzadoro’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações

No segundo experimento a cultivar Débora foi substituída pela cultivar Pizzadoro, devido à estiagem e seca relâmpago no sudeste brasileiro no último trimestre de 2014, o que levou à perda das plantações de tomates Débora de toda a região de São Carlos/Araraquara e Campinas.

Tomates ‘Pizzadoro’ são frutos são tipicamente compridos (7 a 10 cm), possuem três lóculos e são carnudos, firmes e de coloração vermelha intensa, podendo ser utilizados em saladas e quando completamente maduros, são adequados ao processamento na forma de molho e tomate seco.

Considerando os aspectos acima citados e a disponibilidade de tomates ‘Pizzadoro’ do município de Boa Esperança - MG, o experimento II foi realizado com essa variedade. Tomates ‘Pizzadoro’ foram adquiridos no Centro de distribuição Mallmann, em Mogi Mirim-

SP, sendo escolhidos no estágio de maturação *breaker* (USDA, 2015) e transportados em caixas plásticas revestidas com plástico bolha à Embrapa Instrumentação, em São Carlos-SP. No laboratório, os frutos foram selecionados novamente quanto à cor, tamanho e sanidade, buscando a padronização do lote. Os tomates foram lavados em água corrente e imersos em solução de hipoclorito a 200 mg L^{-1} , durante 15 minutos para desinfecção, e secos a temperatura ambiente.

Os frutos foram submetidos aos mesmos tratamentos mencionados no experimento I, sendo os revestimentos depositados nos frutos conforme da forma descrita no item 4.2.4.1. Os tomates foram mantidos a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ (80% UR) por treze dias, sendo as análises físicas e químicas realizadas nos dias 0, 3, 6, 9, 12 e a atividade respiratória e produção de etileno determinadas no 1º, 4º, 7º, 10º, 13º dias de armazenamento. O período de avaliação foi menor que o do experimento I, visto que os tomates alcançaram o estágio de maturação *red* (USDA, 2015).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5 (tratamentos) \times 5 (dias de amostragem), totalizando 189 frutos para as análises físicas e químicas destrutivas; 45 frutos para as não-destrutivas e 75 frutos para as análises fisiológicas, totalizando 309 frutos amostrados.

Os tomates foram quanto aos mesmos parâmetros mencionados no experimento I.

Análises físicas, químicas e fisiológicas

Perda de massa fresca

Foi determinada através de pesagem em balança digital AS 2000C de 9 frutos por tratamento ao longo dos dias de armazenamento (Figura 11). Os resultados foram expressos em porcentagem.



Figura 11. Determinação da massa fresca de tomates

Firmeza

Foi determinada por meio de texturômetro TA.XTplus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Inglaterra, Reino Unido), equipado com sonda de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em Newton (N), a partir de três penetrações na região distal de cada fruto, retirando-se o epicarpo (pele) do local da perfuração (Figura 12).



Figura 12. Determinação da firmeza de tomates: (A) remoção da pele (B) detalhe da região de medição (porção equatorial distal) dos tomates.

Potencial hidrogeniônico (pH)

Foi determinado em medidor de pH de bancada PHS-3B, (Figura 13) pela mensuração direta das amostras trituradas, sendo realizadas em triplicatas dos tratamentos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).



Figura 13. Determinação de pH pela mensuração direta das amostras compostas, trituradas e homogeneizadas.

Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada a partir da titulação, de 10g de polpa de tomate homogeneizada em 50 mL de água destilada, com NaOH 0,1 N até atingir pH 8,1 (GOULAS; MANGANARIS, 2011) (Figura 14). Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico por 100 g (AOAC, 1997- método 942.15).



Figura 14. Determinação da acidez total titulável de tomates.

Sólidos solúveis totais (SST)

Foi quantificado na polpa homogeneizada, por leitura direta em refratômetro de bancada Atago RX-5000cx. Os resultados foram expressos em °Brix (AOAC, 1997 - método 932.12) (Figura 15).



Figura 15. Determinação de sólidos solúveis totais em refratômetro.

Índice de Maturação ou *ratio*

Foi obtido pela relação entre os teores de sólidos solúveis totais e os de acidez total titulável.

Coloração

Foi avaliada com o auxílio de colorímetro Minolta®, tomando-se três leituras em triplicata na região equatorial distal dos frutos inteiros, com os resultados expressos em luminosidade (L) e valor de a^* . Foram realizadas medições em 9 frutos por tratamento.



Figura 16. Determinação da coloração da superfície dos tomates tratados com os diferentes revestimentos

Atividade respiratória e produção de etileno

Foi determinada em amostras, de três frutos, acondicionadas em recipientes de vidro hermeticamente fechados, com capacidade de 1430 mL, contendo septo de silicone na tampa (Figura 17). Os frascos foram ainda vedados com filme PVC para evitar alterações nas concentrações de gases da atmosfera interna, antes de serem fechados (Figura 18). Foram utilizadas cinco repetições por tratamento.



Figura 17. Tomates em recipientes de vidro para determinação da respiração e produção de etileno.



Figura 18. A) vedação dos frascos com filme PVC e B) fechamento dos frascos com tampa contendo septo de silicone.

Produção de etileno

Para análise de produção de etileno, os recipientes permaneceram fechados por 1h, coletando-se alíquota de 1,0 mL da atmosfera interna destes recipientes, através de seringa HS Gauge Point (modelo Gastight, marca Hamilton) (Figura 19). As alíquotas coletadas foram injetadas em cromatógrafo a gás Varian, modelo CP-3800 com coluna Porapak N e detector de ionização de chama (FID), utilizando hidrogênio como gás de arraste e fluxo de 30 mL.min⁻¹. As temperaturas da coluna, injetor, detector e metanador foram de 50, 110, 200 e 350 °C, respectivamente. As áreas de pico de etileno foram transformadas em ppm mediante fator de correção obtido pela injeção de padrão com concentração de etileno conhecida. No cálculo também foram considerados o volume do recipiente de vidro, a massa dos frutos e o tempo de acúmulo de etileno. Os resultados foram expressos em $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.



Figura 19. Coleta de alíquotas de 1,0 mL da atmosfera interna dos recipientes.

Determinação da composição gasosa

Para determinação das taxas de produção de CO₂ e de consumo de O₂, utilizou-se um respirômetro, marca Illinois Instrument, Inc., modelo 6600, cujo equipamento mede a porcentagem de níveis de gás oxigênio e carbônico na atmosfera das embalagens (Figura 20). As medidas de gás oxigênio são feitas por meio de um sensor de zircônia e as de dióxido de carbono por um detector de infravermelho. O volume dos frutos de cada recipiente foi medido por meio da utilização de parâmetros de densidade aparente. As medidas de densidade aparente foram realizadas através da imersão dos frutos em béquer com volume conhecido de água destilada, em temperatura constante de 25°C. A altura da coluna de água deslocada no

béquer é medida com auxílio de paquímetro, permitindo o cálculo direto do volume de água deslocado pelo fruto (Figura 21).

A massa do fruto foi medida em balança digital AS 2000C. A densidade aparente foi obtida pela razão entre a massa e o volume de água deslocado pelo fruto, expressa em g/cm³. A determinação da taxa de respiração em relação ao volume dos gases consumidos ou liberados pelos frutos foi realizada conforme Barbosa (2013), sendo a equação indicada abaixo:

$$R_{vol} = \frac{\Delta\%}{\Delta t} \times \frac{V_{ev}}{100} \times \frac{1}{m}$$

R_{vol} = taxa de consumo de O₂ ou produção de CO₂ (mL/kg h)

Δ% = concentração de O₂ ou CO₂ ao longo do tempo

Δt = tempo da realização de medidas de respiração (h)

m = massa dos frutos no interior da microcâmara (kg)

V_{ev} = Volume de espaço vazio da microcâmara (mL)



Figura 20. Medida de respiração em tomates.



Figura 21. Medida de densidade aparente dos tomates.

4.2.4.3. Experimento III: Análise sensorial de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações.

Tomates ‘Débora’ foram adquiridos no centro de distribuição Ceasa, em Campinas-SP, sendo colhidos no estágio de maturação “breaker” e transportados em caixas plásticas revestidas com plástico bolha à Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP. No laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Instrumentação, os frutos foram selecionados quanto à cor, tamanho e sanidade, com objetivo de padronizar o lote.

Os tomates foram lavados em água corrente para eliminação de resíduos provenientes do campo e imersos em solução de hipoclorito 200 mg L⁻¹, durante 15 minutos para desinfecção, e secos a temperatura ambiente. Os frutos foram submetidos aos mesmos tratamentos descritos no experimento I e armazenados a 23 °C ± 1 (80% UR) por 10 dias.

O teste sensorial foi realizado em sala climatizada à temperatura aproximada de 23 °C, sob luz fluorescente. As amostras foram dispostas em bandejas de isopor brancas, contendo 6 frutos por tratamento (Figura 22), sendo apresentada aos provadores de maneira aleatória e codificada.

As amostras foram avaliadas quanto à cor, brilho, textura visual e aparência global, por uma equipe de 53 provadores não treinados, através de escala hedônica de 12 pontos (Figura 23), (MONTEIRO, 1984). Os provadores também foram instruídos a indicar a intenção de compra dos tomates utilizando escala de 5 pontos (CAMARGO; HAJ-ISA; QUEIROZ, 2007), tanto para consumo *in natura* (para salada) como na forma processada (para molho). Por último, eles foram instruídos a ordenar as 5 amostras em ordem de preferência, ordenando-as de modo decrescente, da mais preferida (posição 5) para a menos preferida (1). As amostras foram apresentadas aos provadores seguindo-se delineamento de blocos completos casualizados.



Figura 22. Análise sensorial dos tomates tratados, após 10 dias armazenamento.

4.2.5 Análise estatística

A comparação dos tratamentos para as análises físicas, químicas e fisiológicas foi realizada através da análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo. Nos casos em que a condição de esfericidade da matriz de variâncias e covariâncias não foi satisfeita, utilizou-se a correção de Geisser e Greenhouse para os graus de liberdade (LITTELL; HENRY; AMMERMAN, 1998; PEREIRA et al., 2013). Os testes de comparações múltiplas de Duncan e de Games-Howell foram utilizados de acordo com a condição de homogeneidade de variância dos tratamentos. O nível de significância adotado para todas as análises foi de 0,05.

A comparação entre os escores dos tratamentos para análise sensorial foi realizada através de anova não paramétrica e comparação múltipla de Kruskal-Wallis, devido ao nível de mensuração ordinal das variáveis e por serem 5 amostras independentes no experimento.

Os softwares utilizados para as análises estatísticas foram o SPSS/IMB, versão 19 e o Statistica/Statsoft, versão 7 (SAS, 1989; STATSOFT, 2011), adotando-se o nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das emulsões de cera de carnaúba

5.1.1. Medidas de tamanho (diâmetro hidrodinâmico), potencial zeta (estabilidade coloidal) e índice de polidispersão

A emulsão convencional apresentou tamanho de partícula entre 0,2 a 1,7 μm ; excelente estabilidade para potencial zeta ($-54,3 \text{ mV} \pm 0,2$; pH 9,67) e índice de polidispersão largo (1,00), indicando que esta possui amplo conjuntos de partículas de tamanhos diferentes.

A nanoemulsão apresentou diâmetro hidrodinâmico de $44,1 \text{ nm} \pm 7,6$ (Figura 24) e potencial zeta de $-43,8 \text{ mV} \pm 1,0$ (pH 10,07), indicando boa estabilidade coloidal. O índice de polidispersão da suspensão foi de 0,277, sugerindo distribuição de tamanho das partículas com moderada dispersão e boa homogeneidade.

As medidas de potencial zeta para ambas as emulsões indicam estabilidade coloidal em solução, uma vez que valores de estabilidade devem ser em módulo, maiores que 30 mV para evitar a aglomeração das partículas (ATTAMA et al., 2007; GUTERRES et al., 1995).

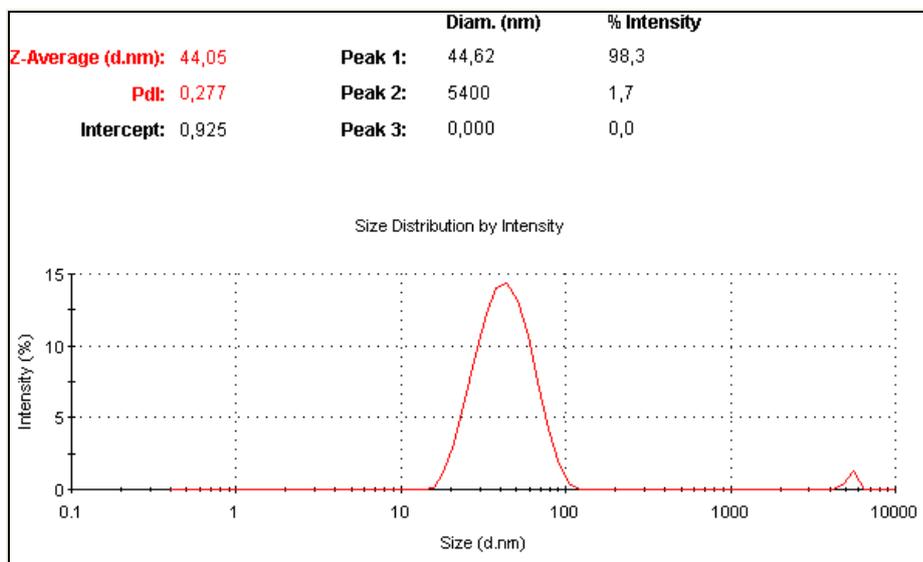


Figura 24. Distribuição de tamanho hidrodinâmico da nanoemulsão de cera de carnaúba.

Os resultados indicam diferenças de tamanho e homogeneidade das partículas das emulsões sintetizadas, as quais podem ser atribuídas aos diferentes sistemas de síntese das emulsões, já que ambas possuem a mesma formulação.

A emulsão convencional produzida em sistema aberto tem suas vantagens por não necessitar de equipamentos sofisticados, porém há desvantagens como: perda de reagentes que se volatilizam durante o aquecimento, por ser realizada em sistema aberto; maior tamanho de partícula e índice de polidispersividade, uma vez que o sistema não é mantido sob pressão ou submetido ao homogeneizador de alta pressão.

A nanoemulsão, sintetizada em reator fechado sob pressão e posteriormente processada em homogeneizador de alta pressão, possui nanopartículas com maior homogeneidade/monodispersividade, além do menor tamanho hidrodinâmico, devido às forças de cisalhamento dos sistemas de alta pressão.

5.1.2. Análise morfológica

As imagens de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas para caracterizar morfológicamente as emulsões de cera de carnaúba. A nanoemulsão apresentou partículas aproximadamente esféricas, formando uma película (Figura 25) quando diluídas em água deionizada na razão de 1:500 e secas por 24h.

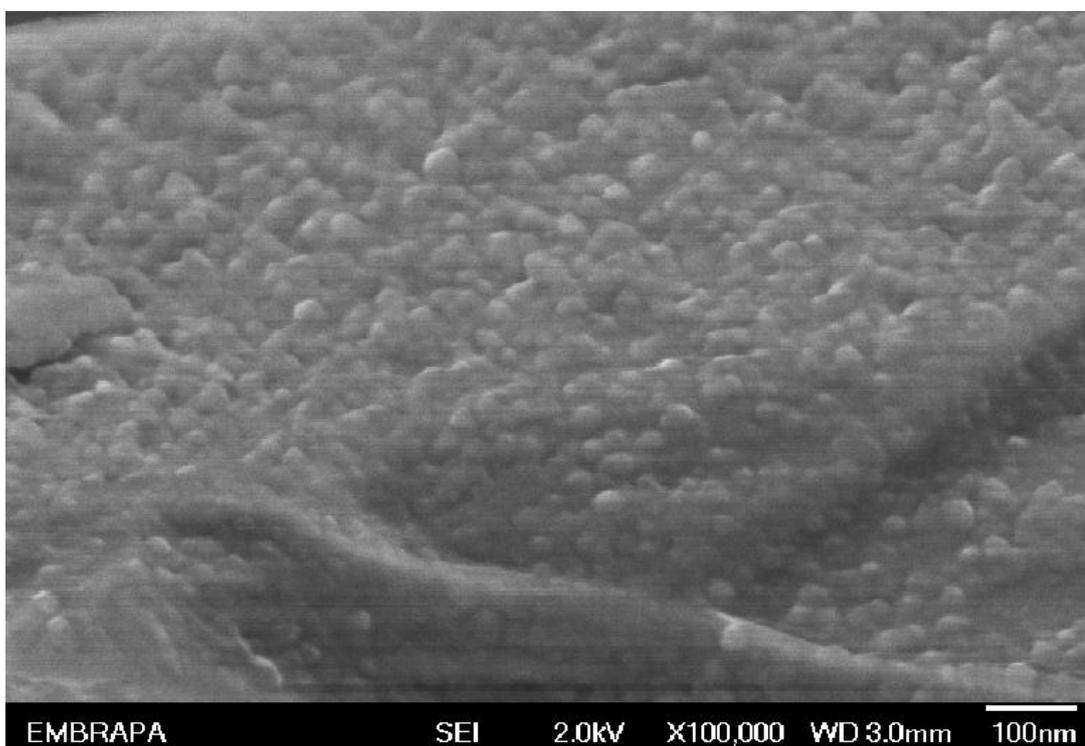


Figura 25. Imagem de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (SEM-FEG) da amostra de nanoemulsão de cera de carnaúba, diluídas 1:500.

O tamanho na escala nanométrica e monodispersividade das partículas da nanoemulsão sintetizada pode ser evidenciada por meio das imagens de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução, em amostras diluídas 1:1000 (v/v) (Figura 26).

Na figura 27, observa-se as partículas da amostra mais dispersas devido a maior diluição da nanoemulsão (1:2000), privilegiando a visualização individual das partículas, monodispersividade e homogeneidade da nanoemulsão.

Analisando as imagens de microscopia eletrônica da nanoemulsão, assim como nas medidas da técnica de espalhamento de luz, observa-se que a maioria das partículas apresenta tamanho aproximado de 45nm (Figura 28).

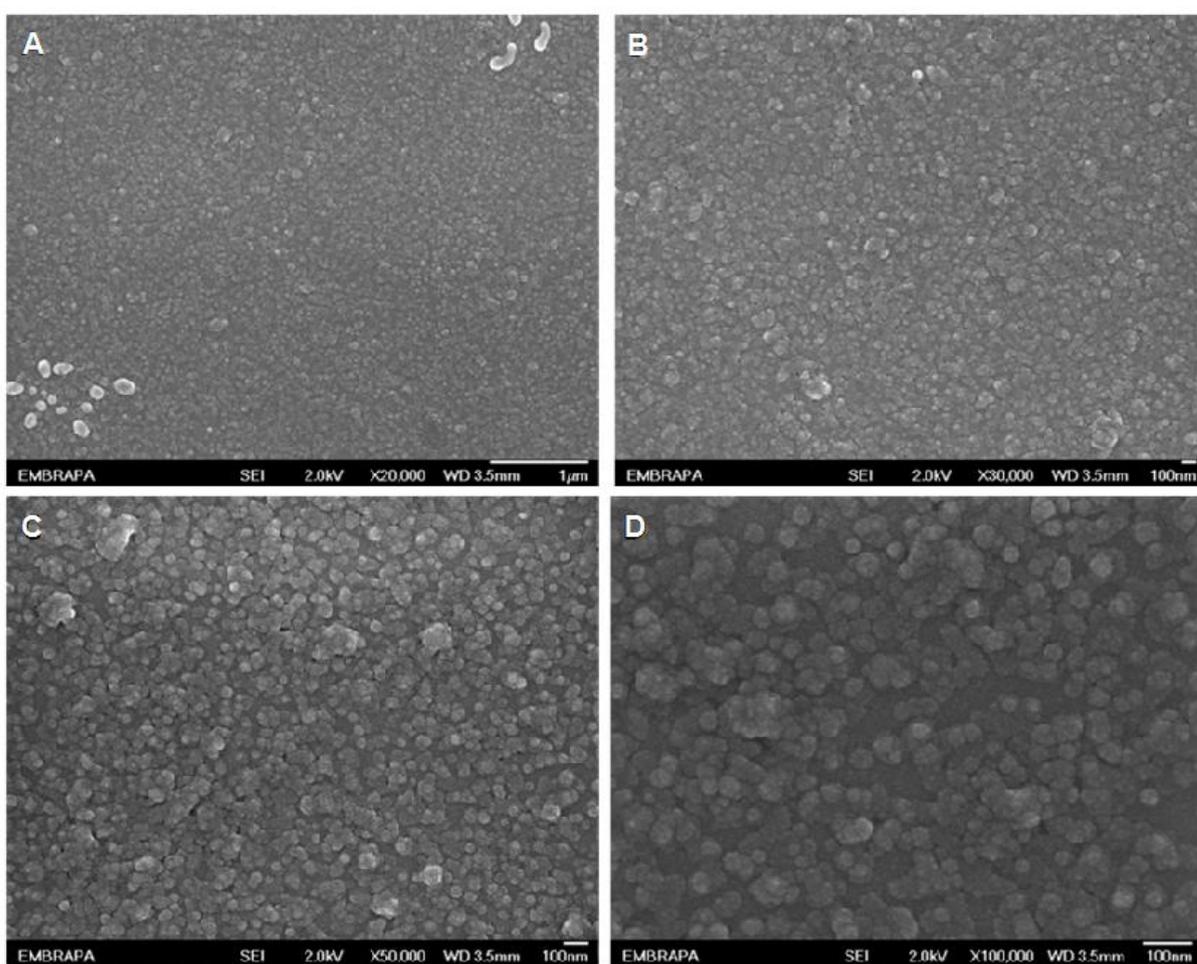


Figura. 26. Imagem de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (FEG) das amostras de nanoemulsão de cera de carnaúba, diluídas 1:1000. A) aumento de 20.000×, B) aumento de 30.000× C) aumento de 50.000× D) aumento de 100.00×.

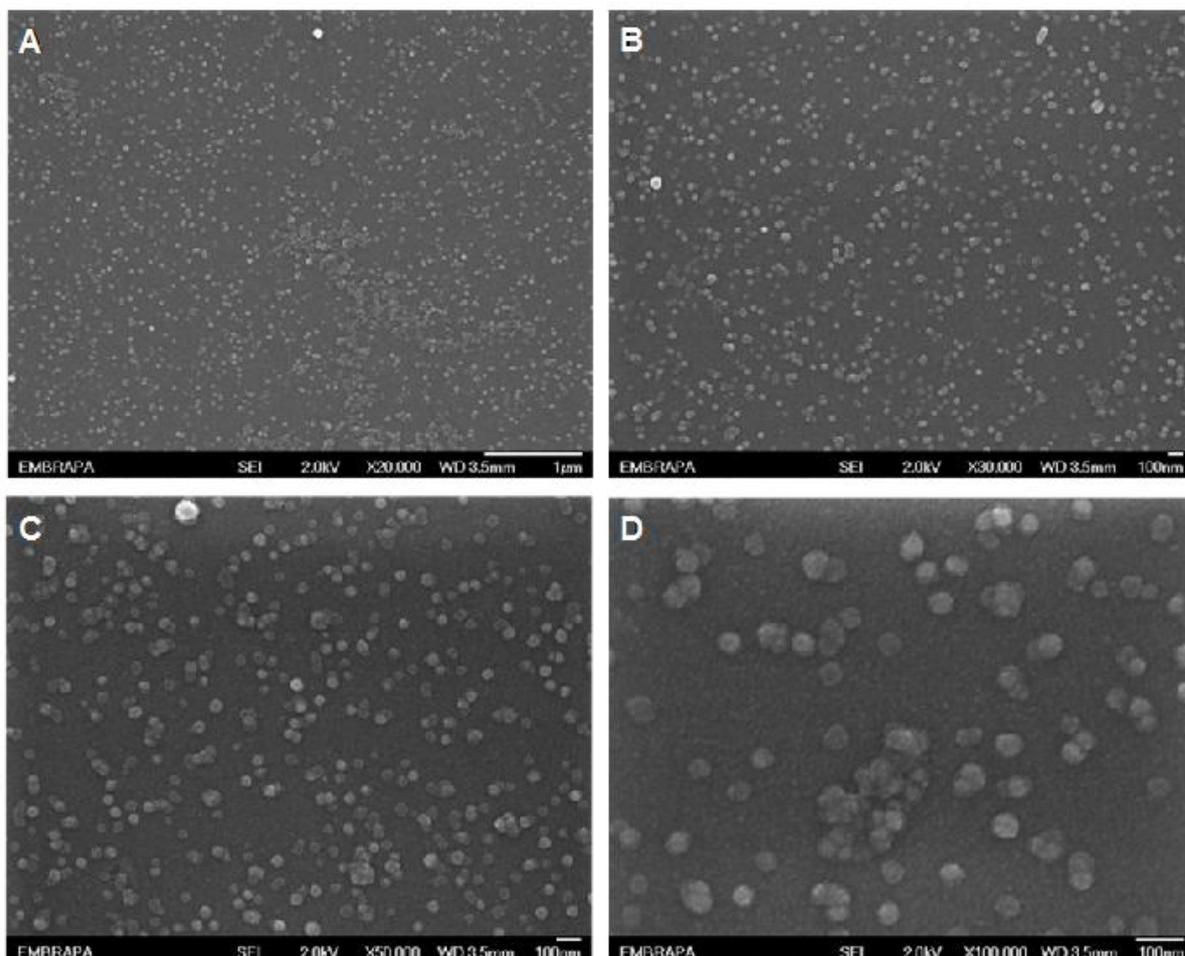


Figura. 27. Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (FEG) das amostras de nanoemulsão de cera de carnaúba, diluídas 1:2000. A) aumento de 20.000×, B) aumento de 30.000×, C) aumento de 50.000× e D) aumento de 100.00×.

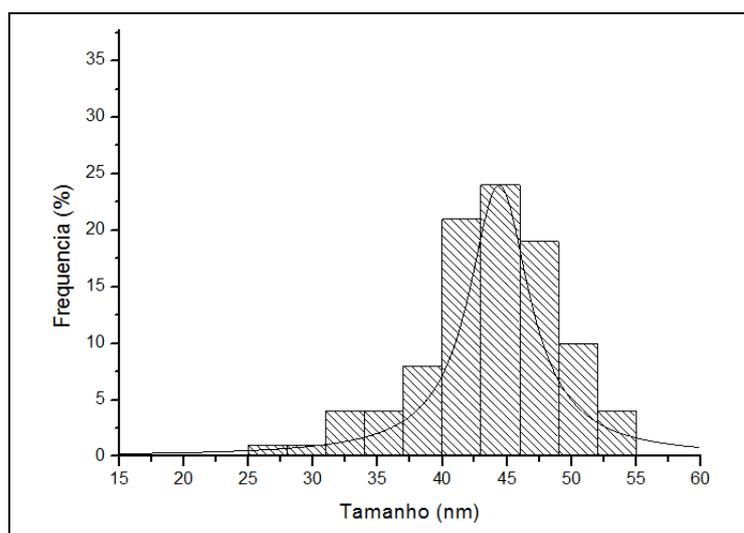


Figura 28. Histograma de tamanho das partículas obtido a partir da contagem do diâmetro de 100 partículas da Figura 27-C.

A heterogeneidade da emulsão convencional foi evidenciada na micrografia de MEV, a partir da amostra diluída na razão 1:2000 e seca por 24h (Figura 29). Na Figura 30, observam-se amostras com maior aumento (5000×), demonstrando a variabilidade do tamanho das partículas que compõem essa emulsão, as quais variaram de aproximadamente 0,3 a 1,3 μm .

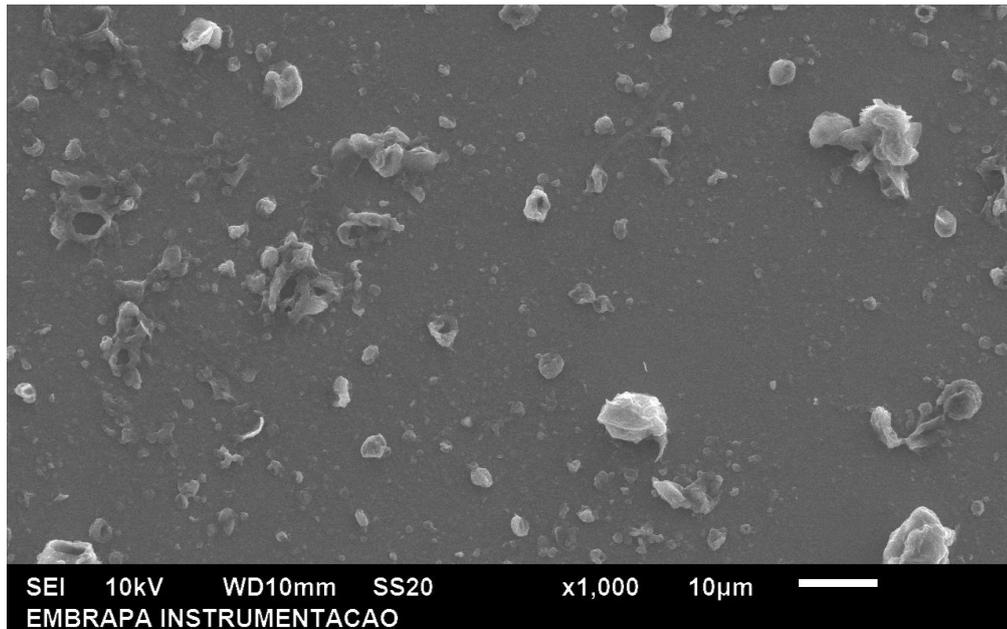


Figura 29. Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das amostras de emulsão convencional de cera de carnaúba, diluídas 1:2000, aumento de 1.000×.

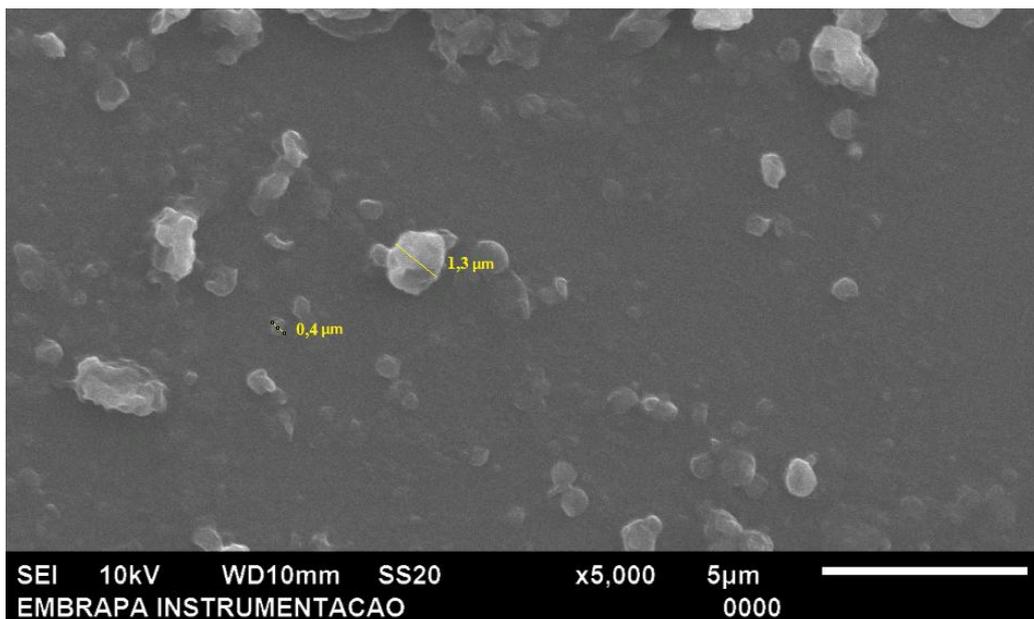


Figura 30. Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das amostras de emulsão convencional de cera de carnaúba, diluídas 1:2000, aumento de 5.000×.

5.1.3. Ângulo de contato

Também conhecido como ângulo de molhabilidade, o ângulo de contato é um parâmetro que representa o quanto uma gota consegue molhar uma superfície, e é representada pelo valor em graus que ela forma com a superfície da epiderme de um fruto, por exemplo.

Os valores médios de ângulo de contato mensurados para o epicarpo de tomate sem revestimento, frutos que receberam a nanoemulsão e os revestidos com a emulsão convencional foram de 55,3°; 64,2° e 77,5°, respectivamente (Figura 31).

Esses valores caracterizam ambos os revestimentos de cera de carnaúba como pouco hidrofílicos, sendo a emulsão convencional menos hidrofílica que a nanoemulsão, devido aos altos valores de ângulo de contato se comparados a coberturas mais hidrofílicas como a fécula de batata 3% (41°) e coberturas hidrofóbicas, como a de cera de parafina (116°) (MARTIN-POLO; MAUGUIN; VOILLEY, 1992; SILVA et al., 2007).

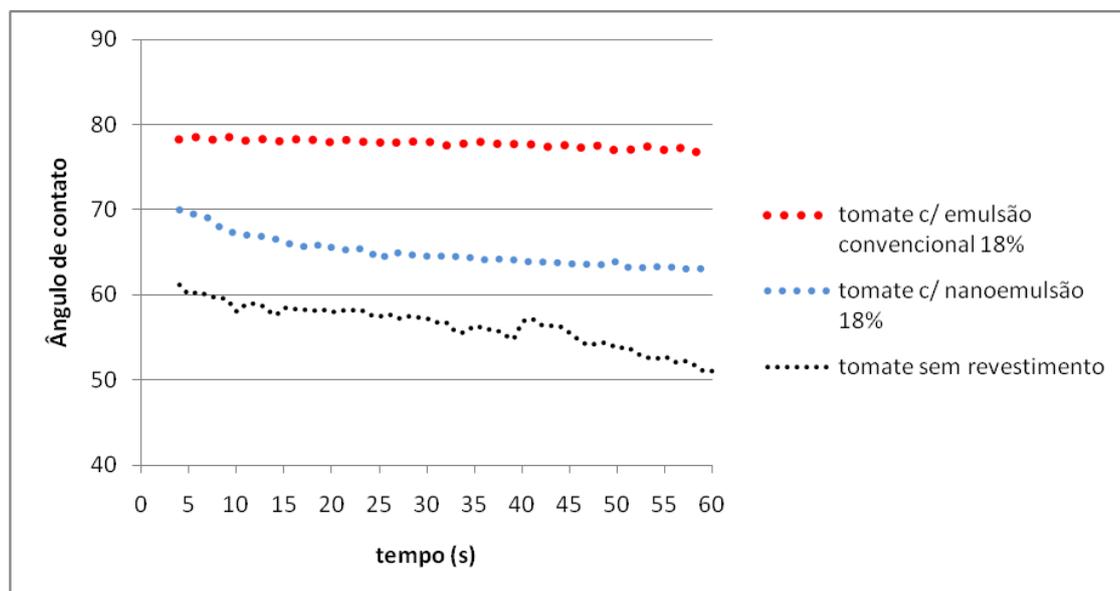


Figura 31. Ângulo de contato em água de revestimentos em tomates, a 24°C e 70% UR.

Os valores de ângulo de contato para revestimentos são dependentes da constituição do material, além da formulação, tipo de solvente, espessura, rugosidade, entre outros, (ABURTO et al., 1997; BENGTSSON; KOCH; GATENHOLM, 2003; BRUNO et al., 1995).

Como nesse trabalho ambas as emulsões possuem a mesma formulação e foram testadas com a mesma concentração e condições, as diferenças nos valores de ângulo de

contato aferidos devem ser resultantes da diferenciação da estrutura da cobertura formada pela emulsão convencional em comparação à nanoemulsão. Jayasekara et al. (2004) mencionaram que o ângulo de contato tem relação com a rugosidade da superfície dos revestimentos, e que a molhabilidade aumenta com o aumento da rugosidade.

A hidrofobicidade da superfície em tomates pode ser aumentada de 55° para 64°/77° por meio da deposição de revestimento de cera de carnaúba. Pode-se indicar que os revestimentos de cera de carnaúba aderem com a pele do tomate, promovendo além do aumento da hidrofobicidade da superfície do fruto, proteção da cicatriz formada na inserção do pedúnculo, o qual é o local em que ocorrem trocas gasosas.

5.1.4. Estabilidade das emulsões em diferentes ambiente

O potencial zeta (ζ) é um parâmetro que indica a estabilidade de uma emulsão, e é representado pela carga elétrica superficial das partículas. Geralmente, valores (em módulo) acima de 30 mV evidenciam estabilidade em suspensão (MOHANRAJ; CHEN, 2006). As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores médios do potencial zeta para as emulsões armazenadas em diferentes ambientes.

Os resultados para a emulsão convencional analisada indicam estabilidade em todos os ambientes testados, sendo -54,2 mV a maior média de potencial zeta mensurado no primeiro dia de análise e -47,6 mV a menor média após 60 dias de armazenamento (Tabela 3). Já a nanoemulsão apresentou variação pouco maior, sendo verificado valor médio de -45,9 mV para o maior valor de estabilidade coloidal aferido no primeiro dia e -36,4 mV para menor média ao final de 60 dias (Tabela 4). Os valores encontrados para potencial zeta sofreram pequenas variações o que não comprometem a estabilidade das emulsões, já que para valores em módulo maiores que -30 mV, as partículas são consideradas estáveis. Sendo assim, podemos afirmar que as emulsões apresentaram estabilidade coloidal para todos os ambientes analisados ao longo do tempo.

Tabela 3. Valores de potencial zeta (mV) para emulsão convencional de cera de carnaúba armazenada em diferentes ambientes durante 60 dias.

Ambiente	Dias após síntese							Médias	Desv.padrão ±
	1	7	14	21	28	45	60		
Exposto a luz	-53,1	-55,6	-53,8	-56,0	-51,6	-51,4	-50,6	-53,6	2,1
Protegido de luz	-53,8	-61,0	-53,1	-55,9	-50,9	-54,0	-51,2	-54,8	3,4
Geladeira a 5°C	-52,2	-58,6	-57,8	-56,0	-52,1	-51,9	-47,6	-54,8	3,9
Estufa a 40°C	-54,2	-58,6	-54,9	-51,7	-53,5	-51,4	-49,8	-54,0	2,9
Ciclando	-52,0	-61,3	-51,5	-54,6	-52,5	-52,6	-50,8	-54,1	3,6
Médias	-53,1	-59,0	-54,2	-54,9	-52,1	-52,3	-50,0		
Desv. padrão	1,0	2,3	2,4	1,9	1,0	1,1	1,4		

Tabela 4. Valores de potencial zeta (mV) para nanoemulsão de cera de carnaúba armazenada em diferentes ambientes durante 60 dias.

Ambiente	Dias após síntese							Médias	Desv.padrão
	1	7	14	21	28	45	60		
Exposto a luz	-41,2	-40,9	-49,5	-51,2	-36,6	-39,5	-42,9	-43,2	5,3
Protegido de luz	-37,1	-44,5	-45,6	-48,3	-36,9	-40,3	-44,5	-42,1	4,4
Geladeira a 5°C	-38,9	-39,8	-46,1	-48,1	-37,9	-38,7	-43,2	-41,6	4,0
Estufa a 40°C	-43,0	-44,2	-46,8	-44,4	-49,0	-53,2	-47,1	-46,8	3,5
Ciclando	-45,9	-45,5	-45,9	-47,9	-43,3	-43,5	-36,4	-45,3	3,7
Médias	-41,2	-43,0	-46,8	-48,0	-40,8	-43,0	-42,8		
Desv. padrão	3,4	2,5	1,6	2,4	5,4	6,0	4,0		

A viscosidade das emulsões não apresentou grandes variações ao longo dos 60 dias após a síntese (Tabelas 5 e 6). Observou-se uma diminuição sutil na viscosidade das amostras de emulsão convencional e um discreto aumento para as da nanoemulsão ao longo do armazenamento para todos os ambientes testados. A média de viscosidade para a emulsão convencional em diferentes ambientes no primeiro dia de análise foi de 7,0 cP, diminuindo

para 6,0 cP após 60 dias de armazenamento, indicando que essa emulsão tornou-se mais fluída.

A nanoemulsão apresentou média de viscosidade de 4,3 cP no primeiro dia de análise, aumentando para 4,6 cP após o período de 60 dias, sugerindo aumento na viscosidade e uma possível aglomeração das partículas.

A variável viscosidade caracteriza reologicamente um sistema, sendo que a avaliação desse parâmetro ajuda a determinar se um produto apresenta consistência ou fluidez apropriada, além de indicar se o produto mantém a estabilidade ao longo do tempo. Os limites de aceitação de viscosidade devem ser definidos pelo formulador considerando-se a percepção visual e sensorial decorridas de alterações (ANVISA, 2004).

Os valores encontrados para a viscosidade tiveram variações máximas de 0,8 cP, indicando que não houve mudanças visuais das emulsões. Pode-se dizer que os valores registrados são considerados aceitáveis, estimando-se um prazo de pelo menos 60 dias de validade para as emulsões sintetizadas.

Tabela 5. Valores de viscosidade (cP) para emulsão convencional de cera de carnaúba armazenada em diferentes ambientes durante 60 dias.

Ambiente	Dias após síntese							Médias	Desv.padrão
	1	7	14	21	28	45	60		
Exposto a luz	7,3	6,7	6,4	6,3	5,9	5,8	5,8	6,4	0,6
Protegido de luz	6,7	6,1	6,1	6,0	5,7	5,6	5,9	6,0	0,4
Geladeira a 5°C	7,3	6,9	6,7	6,6	6,3	6,2	6,1	6,7	0,5
Estufa a 40°C	6,3	6,4	6,1	6,1	6,2	6,5	6,2	6,3	0,2
Ciclado	7,3	6,6	6,3	6,3	5,9	5,8	6,2	6,4	0,5
Médias	7,0	6,5	6,3	6,3	6,0	6,0	6,0		
Desv. padrão	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2		

Tabela 6. Valores de viscosidade (cP) para nanoemulsão de cera de carnaúba armazenada em diferentes ambientes durante 60 dias.

Ambiente	Dias após a síntese							Médias	Desv.padrão
	1	7	14	21	28	45	60		
Exposto a luz	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7	3,7	4,2	3,9	0,2
Protegido de luz	4,4	4,1	4,0	4,1	3,8	3,9	4,3	4,1	0,2
Geladeira a 5°C	4,5	4,2	4,4	4,4	4,2	4,2	4,5	4,3	0,2
Estufa a 40°C	4,2	4,2	4,1	4,3	5,5	5,3	5,3	4,6	0,6
Ciclado	4,3	4,2	4,1	4,1	3,9	3,9	4,9	4,1	0,3
Médias	4,3	4,2	4,1	4,2	4,2	4,2	4,6		
Desv. padrão	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7	0,6	0,4		

5.2. Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates

5.2.1. Experimento I: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações

Os resultados dos tratamentos obtidos na avaliação dos atributos de qualidade de tomates foram analisados estatisticamente e são apresentados na Tabela 7. Observa-se que houve efeito significativo do tempo para todas as variáveis ($p < 0,001$) e diferença entre os tratamentos assim como interação significativa entre os dias e tratamentos somente para perda de massa ($p < 0,05$) e a acidez titulável ($p = 0,007$).

Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) dos atributos de qualidade de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23° ±1°C (80% UR), por 16 dias.

Variáveis	Fonte de variação		
	Dias	Dias*Tratamentos	Tratamentos
Perda de massa¹	<0,001	<0,001	<0,001
Firmeza	<0,001	0,984	0,367
ATT¹	<0,001	0,007	0,004
pH	<0,001	0,398	0,233
SST	<0,001	0,330	0,241
Ratio	<0,001	0,866	0,014
Luminosidade ¹	<0,001	0,909	0,653
a ¹	<0,001	0,428	0,998
Etileno ¹	<0,001	0,481	0,852
CO ₂ ¹	<0,001	0,782	0,215
O₂¹	<0,001	0,622	0,429

p-valores das anovas com medidas repetidas; ¹Correção de Geisser-Greenhouse para os graus de liberdade, devido à ausência de esfericidade.

Análises físicas, químicas e fisiológicas

Perda de massa em tomates

Houve aumento significativo da porcentagem de perda de massa dos tomates durante o período de armazenamento (Tabela 7, Figura 32), havendo diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 7 e 8) e interação entre eles ($p < 0,001$).

Observa-se (Figura 32) que os frutos controle apresentaram a maior porcentagem de perda de massa ao longo do armazenamento (2,5%), enquanto que para os tomates revestidos a perda foi menor (1,8% para nanoemulsão e 1,5 % para emulsão convencional).

A estrutura sólida de gorduras é densa e limita a difusão de água (MORILLON et al., 2002). Sendo assim, a maior perda de massa dos frutos controle deve-se a ausência do revestimento hidrofóbico favorecendo a transpiração dos frutos e as trocas gasosas na região da inserção do pedúnculo.

Chiumarelli e Ferreira (2004) relataram menor perda de massa em tomates ‘Débora’ revestidos com cera de carnaúba comercial 18% Megh wax ECF 124 (3,5%) quando

comparados aos frutos controle (9% de perda), armazenados a 19,8°C (61,6% UR), durante 20 dias. Enquanto Wills e Ku (2002) registraram perda de massa de 3,8% em 10 dias de armazenamento a 20°C para tomates 'Clarion'. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos neste trabalho.

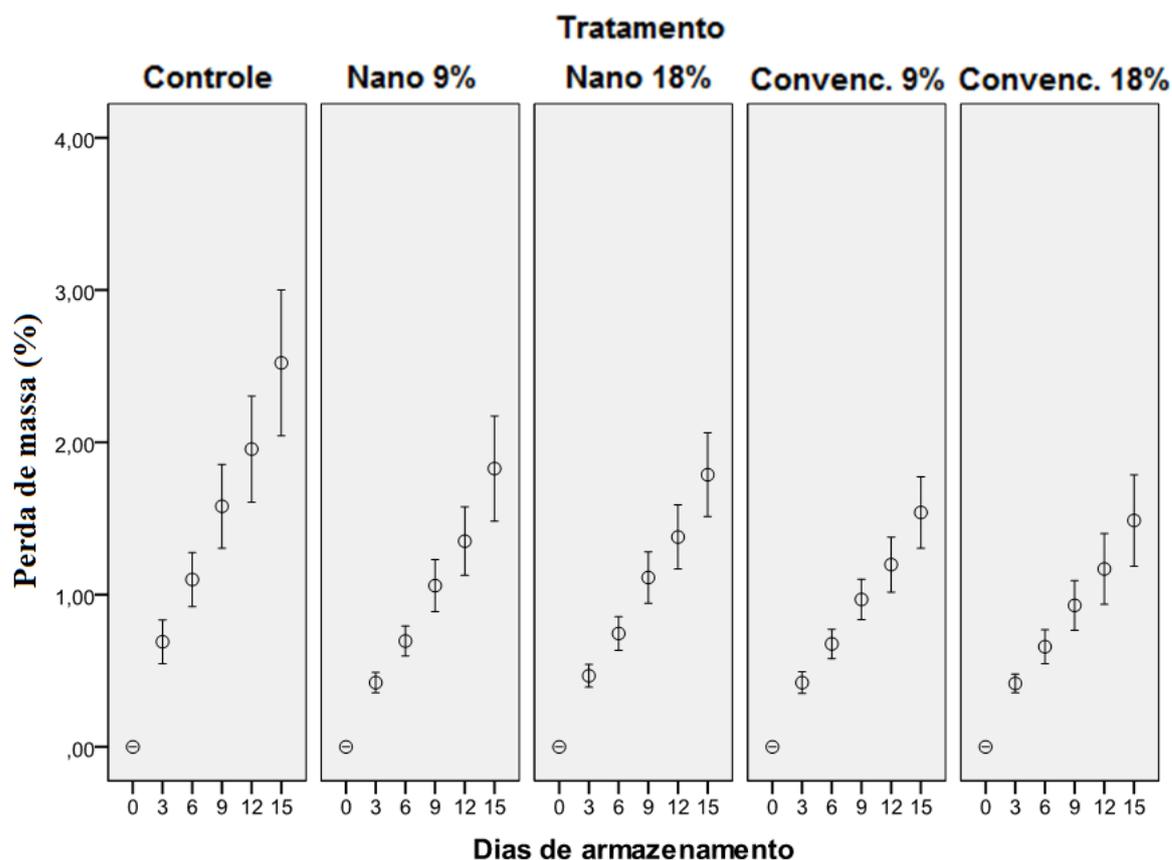


Figura 32. Perda de massa fresca (%) em tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Tabela 8. Valores médios de perda de massa (%) de tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias.

Tratamentos	Perda de massa (%)
Controle	1,38a
Nano 9%	0,89b
Nano 18%	0,92b
Convenc. 9%	0,80b
Convenc. 18%	0,78b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Morillon et al. (2002) citam que com o aumento da quantidade de cera de carnaúba há maior eficiência de barreira contra a perda de umidade em revestimentos contendo resinas, goma-laca, ou ceras de polietileno oxidado. Porém, nesse trabalho ambas as emulsões tiveram desempenhos similares o controle da perda de massa, sugerindo a utilização da menor concentração da emulsão nos frutos, visando maior rendimento e redução de custo.

Firmeza da polpa

A firmeza dos tomates diminuiu significativamente durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,367$), nem interação entre estes fatores ($p = 0,984$) (Tabela 7, Figura 33).

O amaciamento da polpa é um dos eventos característicos do amadurecimento dos tomates, no qual há conversão da pectina insolúvel (protopectina) em pectina solúvel (FERREIRA, 2004).

Chiumarelli e Ferreira (2004) verificaram diferenças significativas na firmeza de tomates da mesma cultivar tratados com cera Megh Wax ECF 124 (18% de sólidos) e armazenados a 19,8°C (61,6% UR), comparativamente ao controle. Todavia, os mesmos autores relataram ausência de efeito nas demais marcas de cera de carnaúba avaliadas.

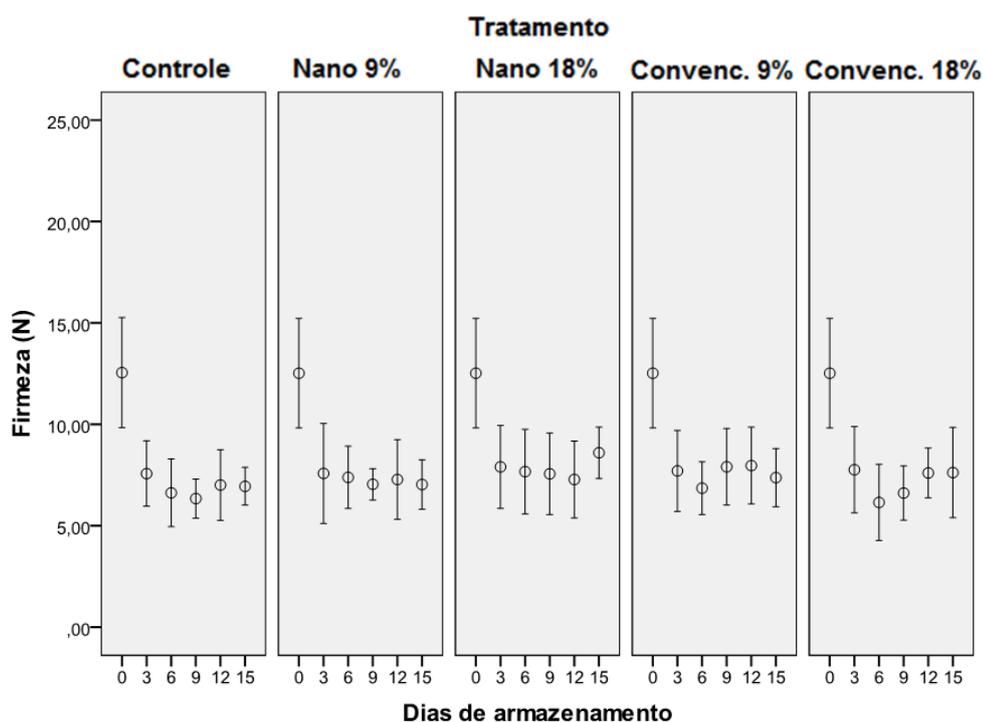


Figura 33. Firmeza (N) em tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e *ratio*

Os tratamentos não interferiram na qualidade dos tomates, representada pelo pH ($p=0,233$), teor de sólidos solúveis ($p=0,241$) e *ratio* ($p=0,014$), porém a acidez total titulável diferiu significativamente (Tabela 7).

A acidez titulável nos frutos diminuiu de forma significativa ao longo dos dias de armazenamento ($p<0,001$) diferindo entre os tratamentos ($p=0,004$) e quanto a interação entre os fatores ($p=0,007$) (Tabela 7, Figura 34). Essa diminuição era esperada, uma vez que os ácidos orgânicos são produtos intermediários do metabolismo respiratório dos frutos, apresentando comportamento decrescente durante o armazenamento, alterando características sensoriais e conseqüentemente influenciando na qualidade (OLIVEIRA et al., 1999).

Os valores de acidez obtidos estão dentro dos padrões de qualidade considerados normais para tomates e ao mesmo tempo foram próximos aos encontrados por Fontes (1997) em frutos ‘Santa Clara’ (0,29 a 0,33 mg/100g) e Chiumarelli e Ferreira (2006) em frutos ‘Débora’ (0,23 a 0,34 mg/100g).

Observou-se que os tomates revestidos com nanoemulsão apresentaram maior acidez que os tratados com emulsão convencional, podendo ser um indicativo de retardo no amadurecimento e senescência do fruto. Apesar dessas diferenças terem sido estatisticamente significativas (Tabela 9), elas foram pequenas, sendo pouco relevantes na prática.

Tabela 9. Valores médios de acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias.

Tratamentos	mg de ácido cítrico/100g
Controle	0,2439 bc
Nano 9%	0,2496 a
Nano 18%	0,2477 ab
Convenc. 9%	0,2401 c
Convenc. 18%	0,2400 c

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan Games-Howell ($p < 0,05$).

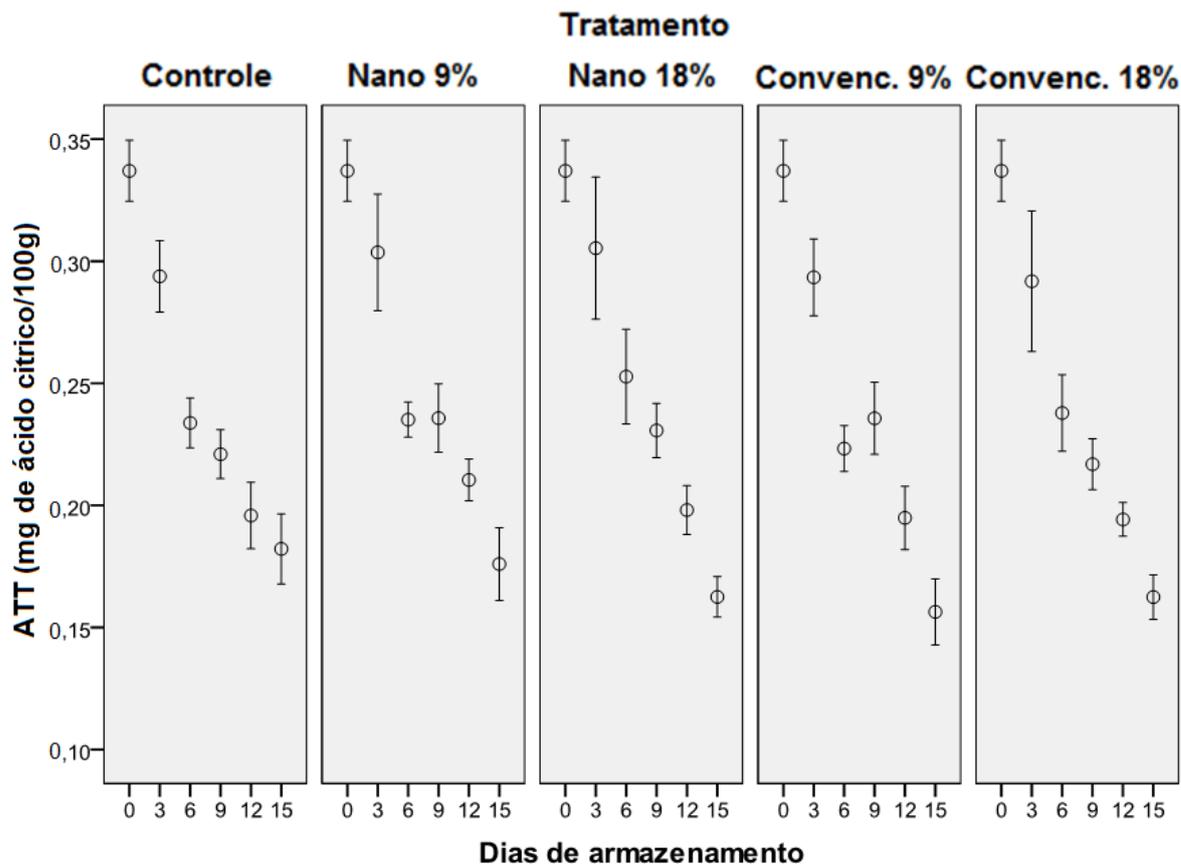


Figura 34. Acidez titulável na polpa de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Já os valores de pH tiveram uma tendência discreta de aumento em todos os tratamentos, apresentando apenas efeito significativo do tempo ($p < 0,001$) (Tabela 7, Figura 35). Os valores registrados são considerados normais para tomates, sendo próximo aos aferidos por Borguini (2002) em tomates ‘Débora’ (4,3 e 4,2) e similares aos encontrados por Chiumarelli e Ferreira (2006) em tomates da mesma cultivar revestidos com cera de carnaúba (3,9 a 4,2).

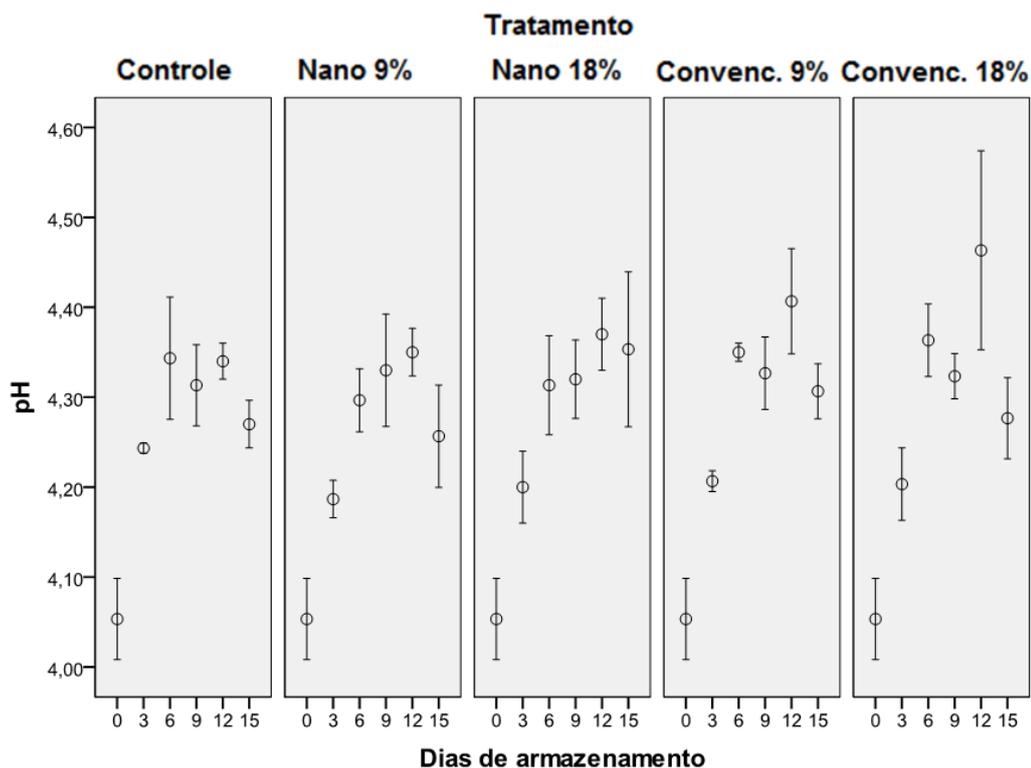


Figura 35. Valores de pH de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Houve diminuição significativa dos teores de sólidos solúveis totais (SST) com o avanço dos dias de armazenamento ($p < 0,001$), porém sem efeito expressivo dos tratamentos ($p = 0,241$) ou da interação entre o efeito do tempo e os tratamentos ($p = 0,330$) (Tabela 7, Figura 36).

Nota-se que os valores médios reduziram de $4,5^\circ$ a $3,9^\circ$ Brix (Figura 36), porém são considerados e estão na faixa descrita por Borguini (2002) e Chiumarellie e Ferreira (2006) em tomates ‘Débora’ ($4,5$ a $4,6^\circ$ Brix).

A maturação, os teores de SST tendem a aumentar, enquanto durante o armazenamento pode ocorrer diminuição nestes teores, ocasionando perda de qualidade nos frutos (BLEINROTH et al., 1992), pois causa alterações nos níveis de açúcares, assim no balanço açúcar/acidez (BALDWIN et al., 1998).

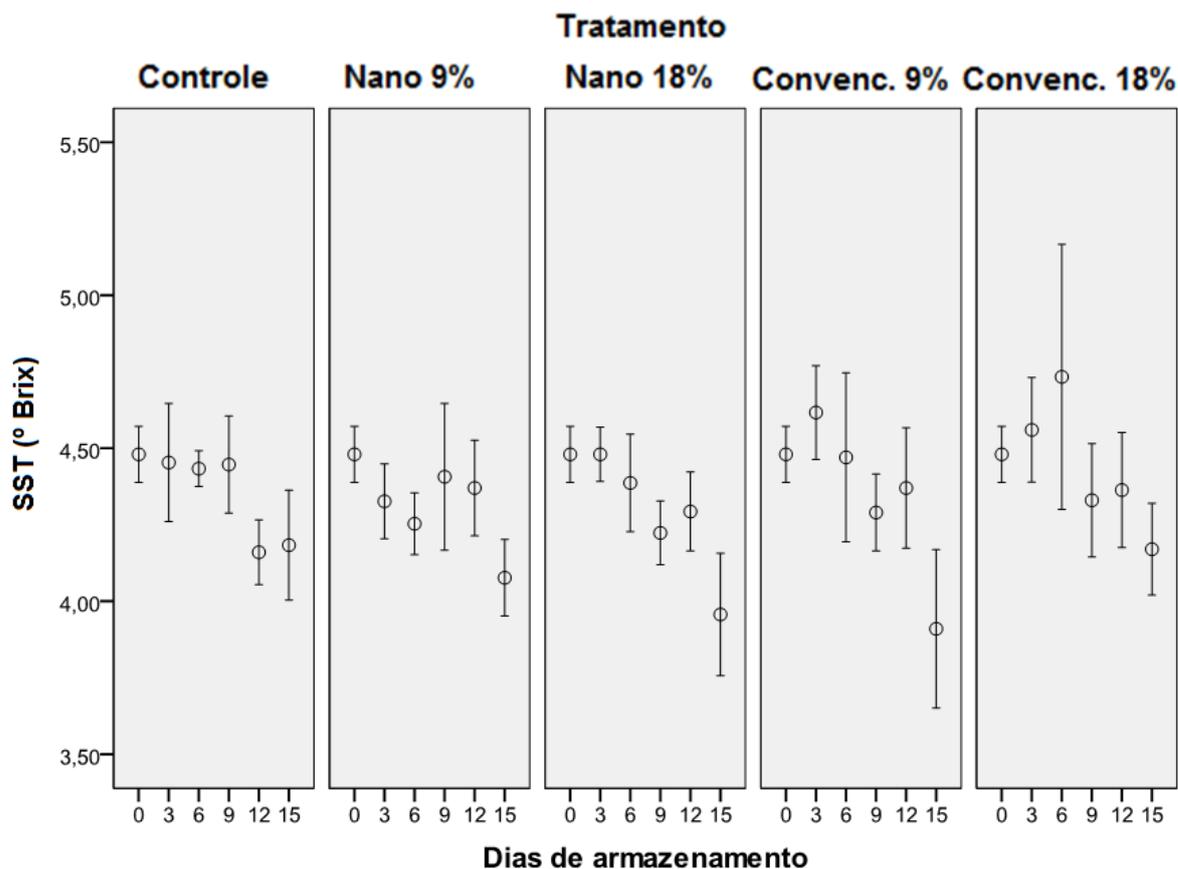


Figura 36. Sólidos solúveis totais na polpa de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

A razão SST/ATT, conhecida como *ratio* ou índice de amadurecimento, indica o sabor do tomate. Houve aumento significativo nos valores deste parâmetro ao longo do tempo de armazenamento ($p < 0,001$), não sendo observado efeito significativo dos demais fatores (Tabela 7, Figura 37).

De acordo com Kader; Morris e Chen (1978), o fruto do tomateiro é considerado de excelente sabor quando apresenta SS/AT superior a 10. Logo, pode-se inferir que os tomates de todos os tratamentos apresentaram esta característica (Figura 37).

Quanto maior o teor de SST (°Brix), maior é o rendimento dos tomates para a sua utilização na indústria de alimentos, levando a um menor o gasto de energia no processo de concentração de polpa. Em termos práticos, o aumento de 1°Brix representa um incremento de 20% no rendimento industrial (SILVA; GIORDANO, 2000). Porém, o aumento do *ratio* nesse experimento se deve principalmente a diminuição da acidez ao longo dos dias de armazenamento, uma vez que os teores de sólidos solúveis diminuíram de forma sutil.

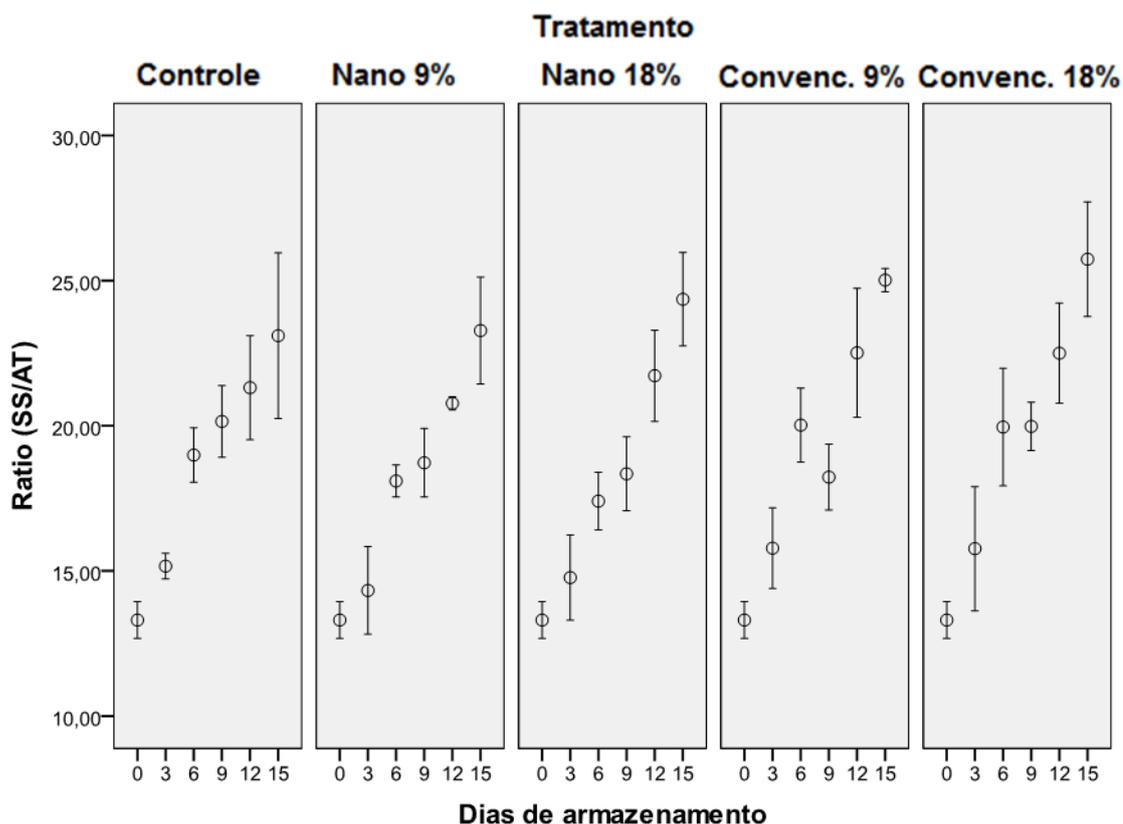


Figura 37. *Ratio* na polpa de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Coloração da casca

Verificou-se diminuição significativa nos valores de luminosidade da casca, independente do tratamento ($p = 0,653$) durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém sem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,909$) (Tabela 7). Os valores médios de L^* variaram de 57 (dia 0) a 38 (15º dia) indicando escurecimento da casca (Figura 38). A diminuição da luminosidade durante o amadurecimento reflete o escurecimento dos tomates devido a síntese de carotenóides e a perda da cor verde (ARIAS et al., 2000).

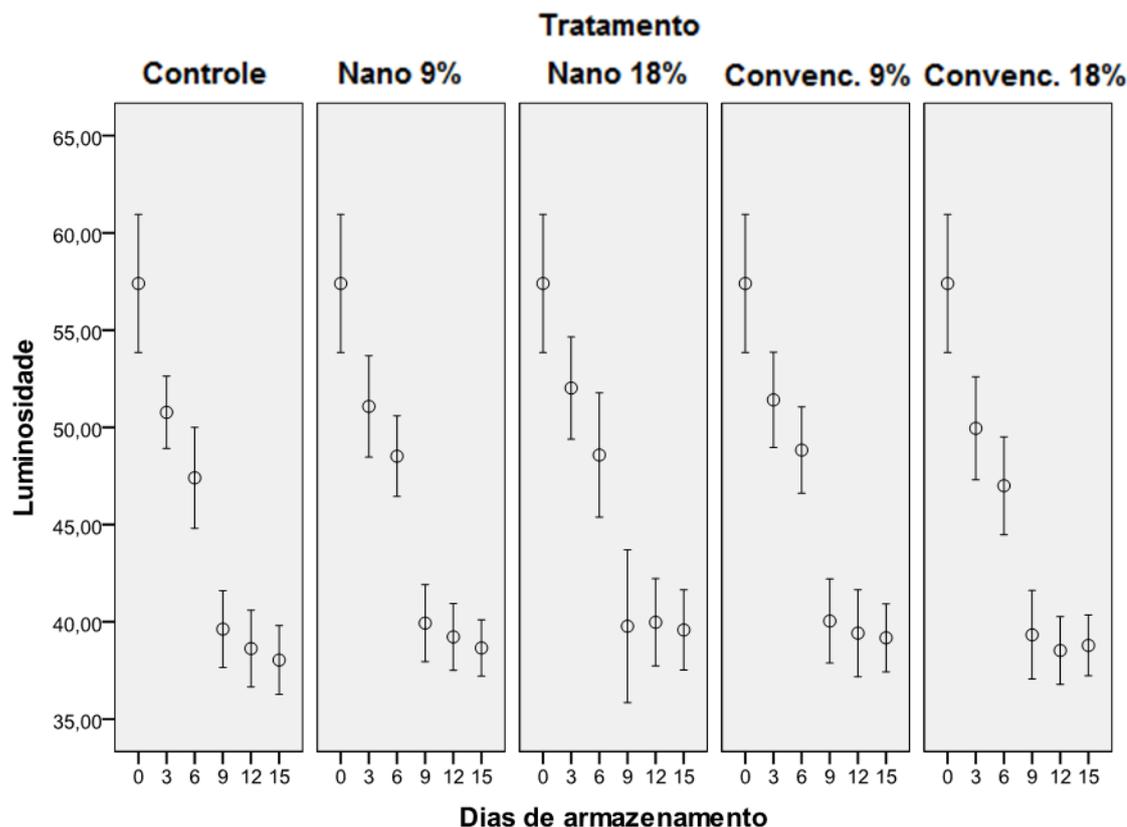


Figura 38. Luminosidade da casca de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Nos resultados obtidos para a avaliação da coloração da casca dos tomates, analisados através do parâmetro a^* , pode-se observar aumento significativo nos valores ao longo do período de armazenamento ($p < 0,001$), porém não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,998$) e nem interação entre estes fatores ($p = 0,428$) (Tabela 7, Figura 39).

Os valores médios de a^* variaram de -6,29 a 20,9 ao longo dos 15 dias de armazenamento, indicando que os frutos passaram do estágio de maturação “breaker” com predominância da coloração verde, para o estágio “red”, o que pode ser atribuído a perda de clorofila e concomitante síntese de licopeno, sendo características do amadurecimento dos tomates (FRASER et al., 1994).

Resultados semelhantes foram verificados por Chiumarelli e Ferreira (2004), os quais não observaram diferenças significativas em relação à coloração de tomates ‘Débora’ revestidos com cera de carnaúba comercial e frutos não revestidos. Mejía-Torres et al., (2009) também não verificaram diferenças significativas para os valores a^* em tomates ‘Charleston’ revestidos com cera de carnaúba e armazenados a 5°C, 12°C e 22°C.

Esperava-se que os tomates tratados com as emulsões apresentariam diferenças em relação aos frutos controle, como maior luminosidade, uma vez que a emulsão com menor tamanho de partícula usualmente proporciona mais brilho ao produto. Quanto ao parâmetro a^* , esperava-se que os frutos revestidos apresentassem retardo no desenvolvimento da cor vermelha, ou seja, menores valores de a^* já que revestimentos lipídicos são barreiras controladoras da permeação de gases, podendo influenciar na coloração dos frutos. Segundo Assis et al. (2008) revestimentos a base de lipídeos, como a cera de carnaúba, são hidrofóbicos e tendem a agir mais efetivamente como barreiras controladoras de umidade e de permeação de gases (ASSIS et al., 2008).

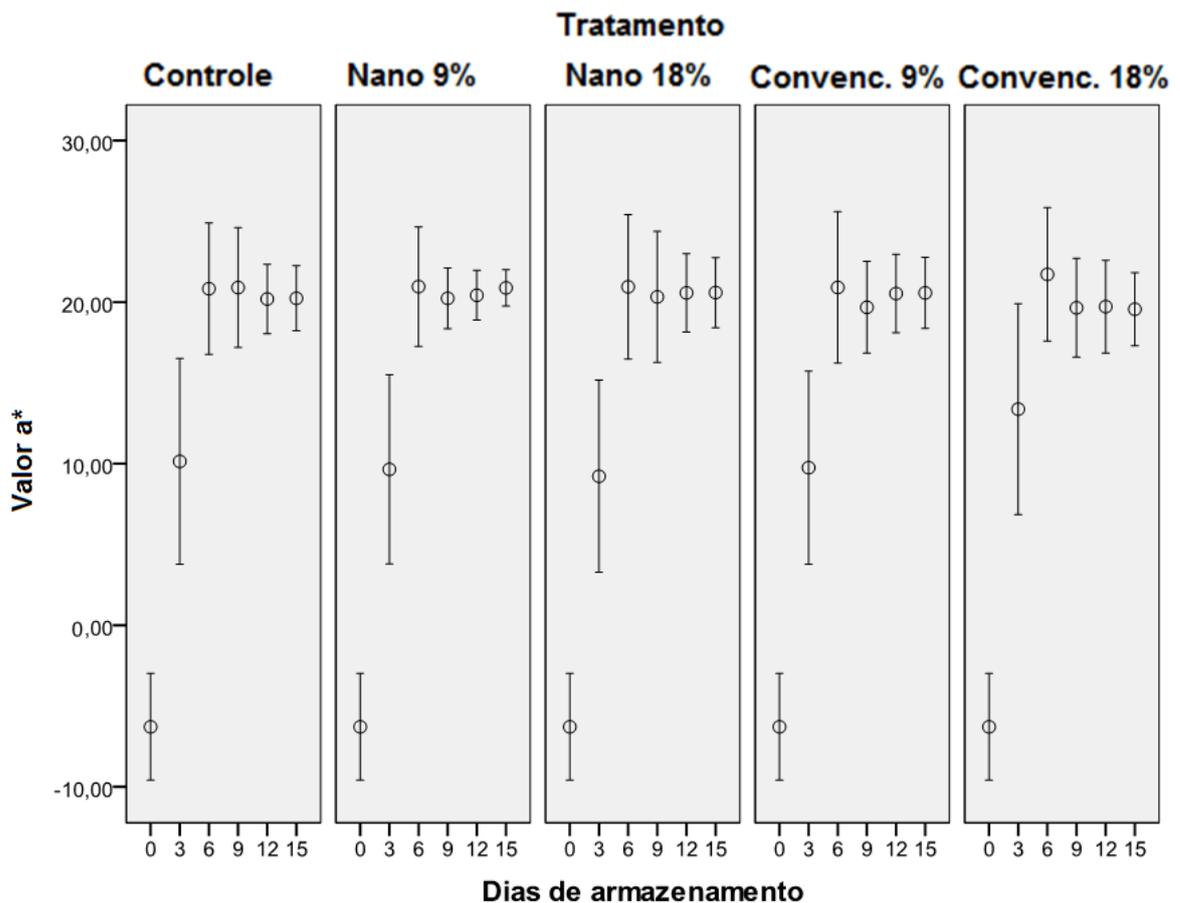


Figura 39. Valor a^* da casca de tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Atividade respiratória, consumo de O₂ e produção de etileno

A atividade respiratória apenas foi influenciada pelo período de armazenamento ($p < 0,001$) (Tabela 7, Figura 40).

Observa-se que no primeiro dia de avaliação, os tomates apresentaram alta taxa de produção de CO₂, provavelmente em decorrência do estresse aplicado aos frutos durante as etapas de colheita e manuseio (BRECHT, 2002). Até o sétimo dia de armazenamento, os frutos apresentaram alta taxa de atividade respiratória, a partir de então essa taxa diminuiu, e permaneceu constante até o décimo sexto dia de armazenamento.

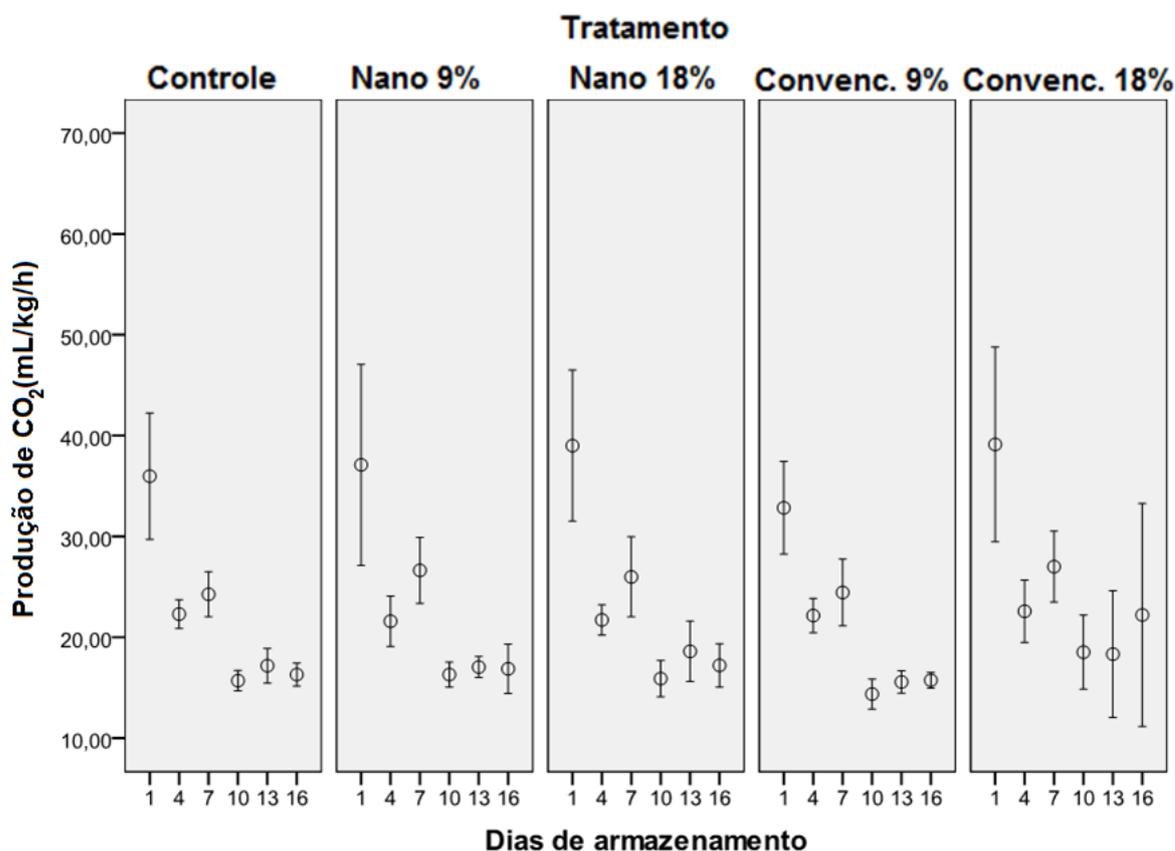


Figura 40. Produção de CO₂ em tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

A taxa de consumo de O₂ também somente foi influenciada pelo período de armazenamento ($p < 0,001$) (Tabela 7, Figura 41).

O consumo de O₂ apresentou comportamento semelhante ao observado na taxa de produção de CO₂. Houve maior consumo de O₂ até o sétimo dia, período em que também

ocorreu maior produção de CO₂, possivelmente pela aceleração do metabolismo que ocorre após a colheita e durante o amadurecimento. O consumo de O₂ diminuiu nos últimos dias de armazenamento, o que foi similar a atividade respiratória (Figura 40).

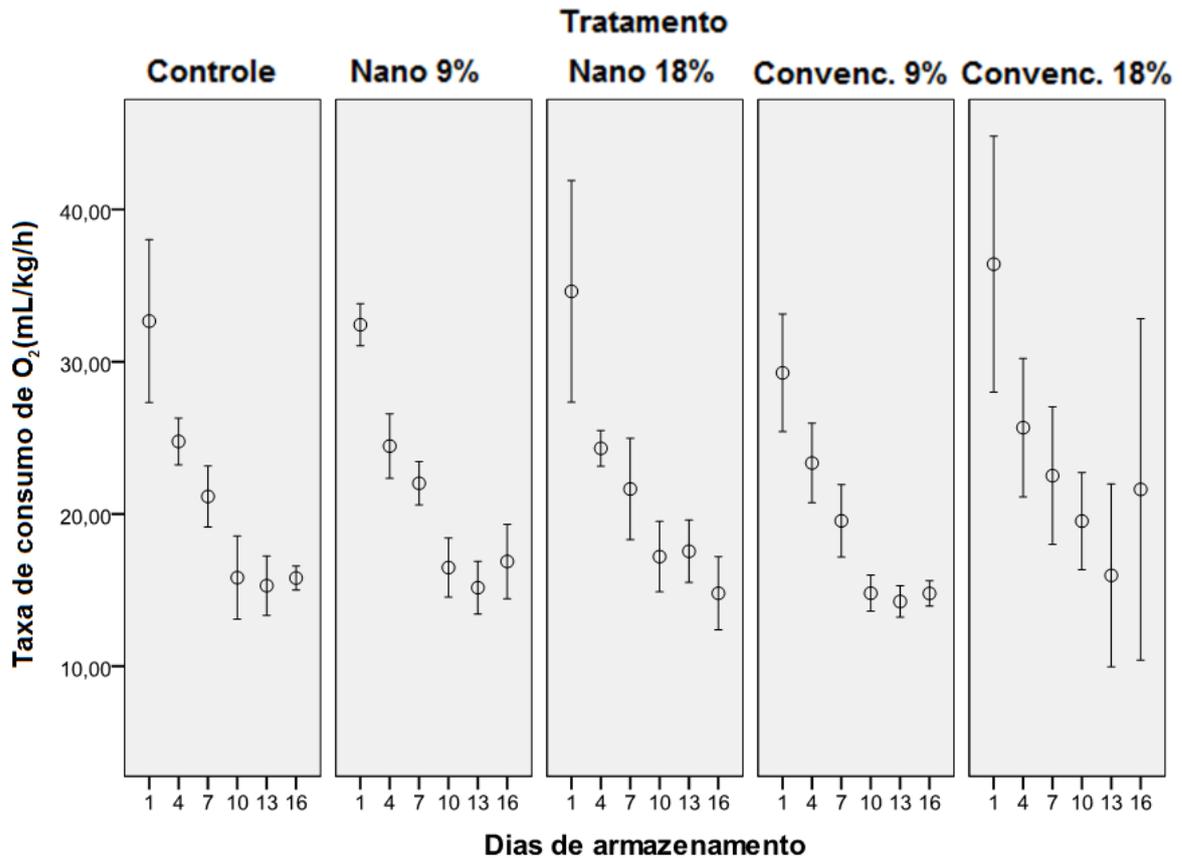


Figura 41. Taxa de consumo de O₂ em tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média ± DP.

A produção de etileno dos tomates decresceu significativamente durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), porém sem diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,852$) e ausência de interação entre eles ($p = 0,481$) (Tabela 7, Figura 42).

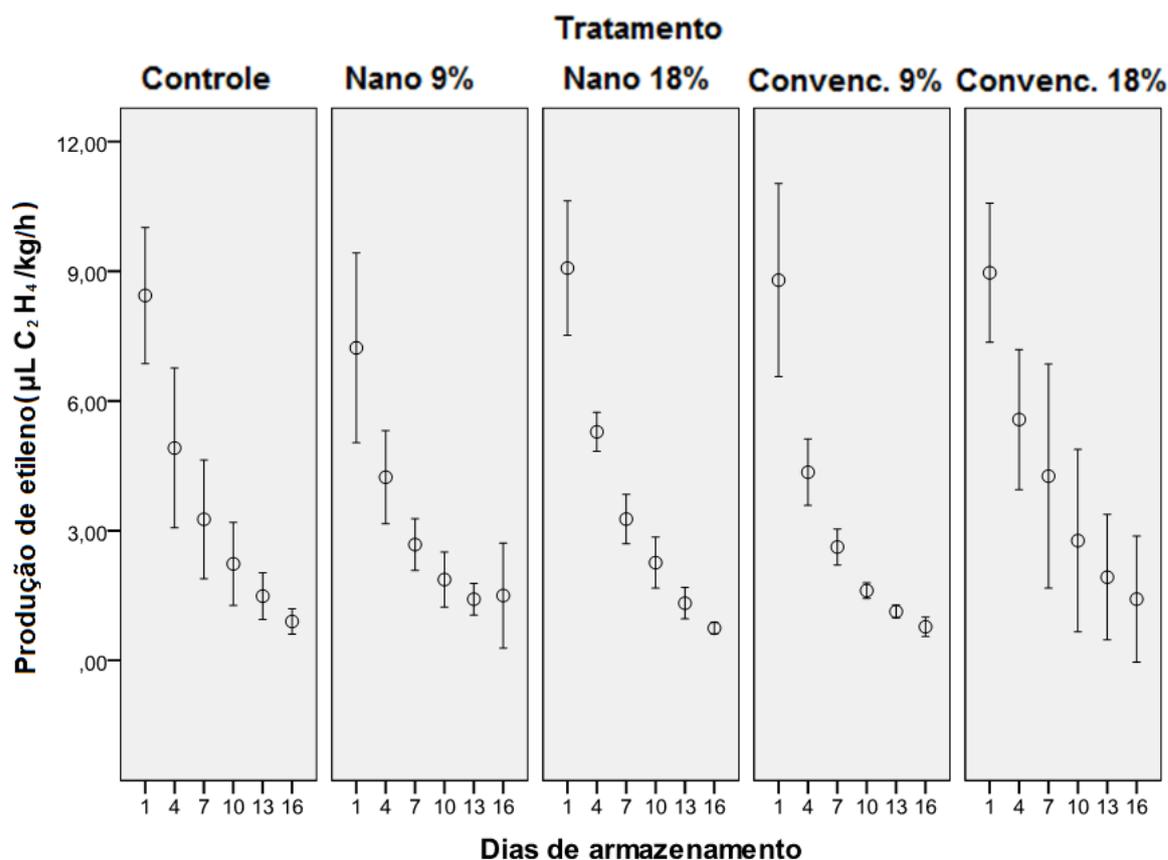


Figura 42. Produção de etileno em tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 15 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Os revestimentos convencionais e nanoestruturados de cera de carnaúba, em suas diferentes concentrações, não se mostraram barreiras eficientes à permeação de gases, uma vez que os tratamentos não diferiram quanto a atividade respiratória e produção de etileno. No presente trabalho, os revestimentos aplicados não foram capazes de retardar de forma eficiente o amadurecimento dos tomates 'Débora', nas condições experimentais propostas. Este resultado não era esperado, pois no caso particular de tomate, a aplicação de gordura de coco, um exemplo de lipídio, apenas na inserção do pedúnculo já é suficiente para aumentar várias vezes a resistência difusiva e conseqüentemente atrasar o amadurecimento de frutos verde-maduros em cerca de uma semana (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007). Quanto às mudanças no estágio de maturação durante armazenamento, Chiumarelli e Ferreira (2006) observaram uma aparente redução nestas alterações em frutos tratados com cera em relação aos não tratados.

A utilização de concentrações maiores que 18% de cera de carnaúba pode talvez, ser mais eficiente em promover essa barreira controladora da permeação de gases para o

revestimento avaliado. Porém, deve-se atentar para que a concentração de O₂ na atmosfera interna do fruto nunca se aproxime de zero a fim de evitar fermentação e perda do produto.

O ajuste de uma formulação otimizada para uso como revestimento capaz de controlar a permeação de gás oxigênio para o interior dos frutos seria o ideal para tomates. Além disso, ter-se-ia o efeito aditivo, uma vez que a produção e a ação biológica do etileno requerem concentrações relativamente elevadas de O₂ na atmosfera interna do produto (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007).

Conclusão do Experimento I

As emulsões convencional e nanoestruturada apresentaram boa barreira controladora de perda de água, reduzindo a perda de massa em tomates ‘Débora’.

O efeito de barreira controladora da permeação de *gases* não foi verificado nas avaliações do experimento I, para as condições experimentais propostas.

As variáveis físicas e químicas exceto perda de massa e ATT, não foram afetadas pelos tratamentos e sofreram apenas efeito do tempo. A acidez dos tratamentos com nanoemulsão indicaram discreto retardo no amadurecimento dos frutos, em relação à emulsão convencional e controle, promovendo melhor manutenção da qualidade dos frutos.

A aplicação de cera de carnaúba convencional e nanoestruturada, na concentração de 9%, é mais eficiente, pois contribui para uma diminuição na perda de massa fresca, sendo uma alternativa de baixo custo, eficiente e ao alcance de pequenos produtores.

5.2.2. Experimento II: Avaliação da qualidade pós-colheita de tomates ‘Pizzadoro’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações

Os resultados dos tratamentos obtidos na avaliação dos atributos de qualidade de tomates “Pizzadoro” foram analisados estatisticamente e estão apresentados na Tabela 10. Verificou-se efeito significativo do tempo para todas as variáveis ($p < 0,001$), com exceção dos sólidos solúveis totais (SST) e pH. Observou-se também efeito significativo dos tratamentos, assim como da interação dias*tratamentos para os parâmetros perda de massa ($p < 0,001$); acidez titulável ($p = 0,014$); luminosidade ($p = 0,008$) e valor a* ($p < 0,001$).

Análises físico-químicas

Tabela 10. Análise de variância (ANOVA) dos atributos de qualidade de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ (80% UR) por 13 dias.

Variáveis	Fonte de Variação		
	Dias	Dias*Tratamentos	Tratamentos
Perda de massa (%)	<0,001	<0,001	<0,001
Firmeza ¹	<0,001	0,944	0,981
ATT¹	<0,001	<0,001	0,014
pH ¹	0,649	0,739	0,063
SST	0,159	0,901	0,206
ratio	<0,001	0,093	0,093
Luminosidade¹	<0,001	0,682	0,008
a¹	<0,001	<0,001	<0,001
Etileno ¹	<0,001	0,019	0,406
CO ₂ ¹	<0,001	0,353	0,824
O ₂ ¹	<0,001	0,732	0,606

p-valores das anovas com medidas repetidas; ¹Correção de Geisser-Greenhouse para os graus de liberdade, devido à ausência de esfericidade

Perda de massa

A perda de massa dos tomates aumentou significativamente durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,001$) e interação entre estes fatores ($p < 0,001$) (Tabela 10, Figura 43). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos no experimento I para a cv. Débora.

Na figura 43, observa-se que a perda de massa do último dia de armazenamento em relação à massa inicial dos tomates no tratamento controle foi de 2,9% enquanto a média para os tratamentos revestidos com as emulsões foi em torno de 1,4%, não havendo diferença significativa para os tratamentos com os diferentes tamanhos de partícula e concentrações (Tabela 11), tal qual verificado no experimento I.

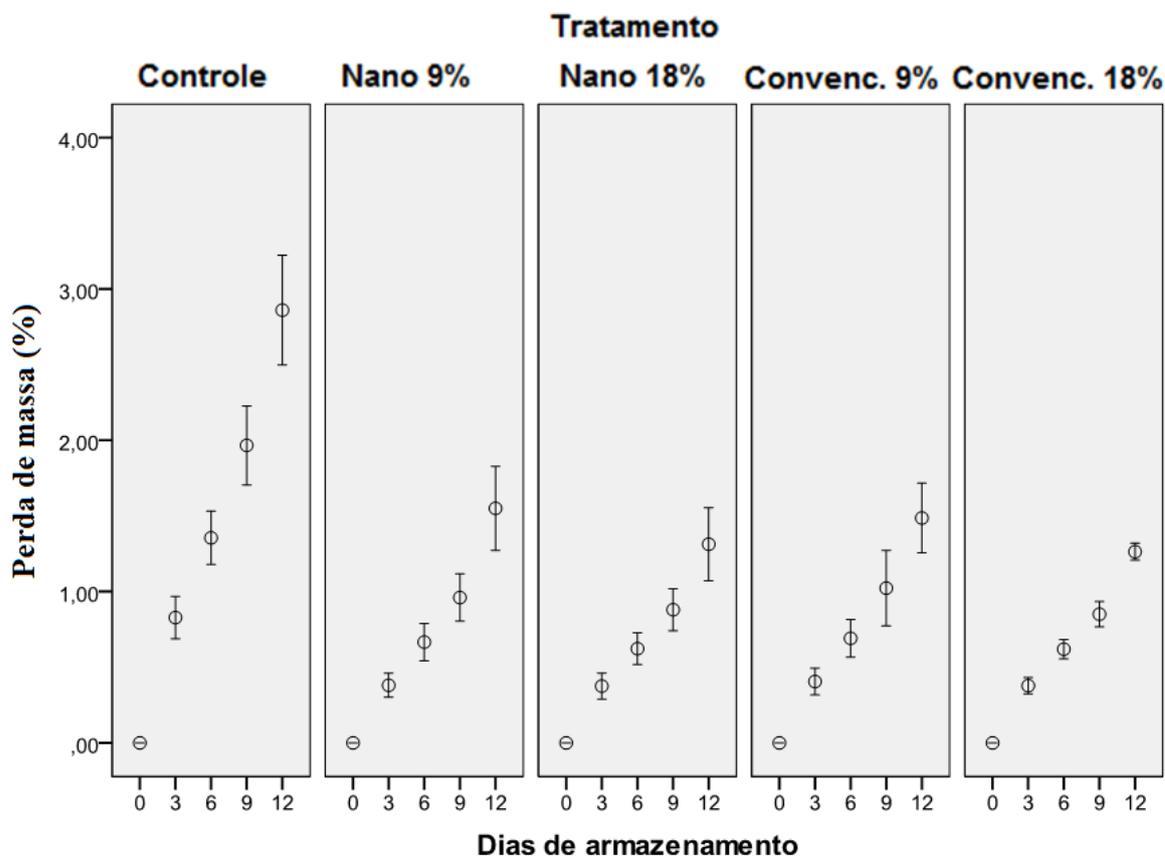


Figura 43. Perda de massa fresca (%) em tomates 'Pizzadoro' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Tabela 11. Valores médios de perda de massa (%) de tomates submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias.

Tratamentos	Perda de massa (%)
Controle	1,40a
Nano 9%	0,71b
Nano 18%	0,64b
Convenc. 9%	0,72b
Convenc. 18%	0,62b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Duncan ($p < 0,05$).

O percentual de perda de massa em tomates 'Pizzadoro' acondicionados em embalagens de polietileno e tratados com diferentes tipos de cera foi medido por Vieites, Neves e Silva (1998) que registraram perdas de 8,36% ao longo dos 21 dias de armazenamento a temperatura ambiente. Mejía-Torres et al. (2009), reportaram menor perda

de massa em tomates revestidos com cera de carnaúba DECCO®, armazenados a 5°C e 12°C por 36 dias. Park et al. (1994) observaram contenção na perda de peso em tomates revestidos com zeína e armazenados a 21° C. Os resultados relatados pelos autores supracitados são concordantes com o comportamento verificado neste trabalho.

Essa propriedade de barreira controladora da permeação de vapor de água era esperada, uma vez que a cera de carnaúba se enquadra na categoria de coberturas hidrofóbicas, com predominância de substituintes apolares (ASSIS; BRITTO, 2014).

Firmeza da polpa

A redução da firmeza é um dos responsáveis pela diminuição do período de conservação dos tomates. Observou-se que apenas o tempo exerceu efeito significativo na firmeza da polpa ($p < 0,001$), com valor médio de 18,7 N, no dia 0 e, valor médio de 6,5 N para o último dia de armazenamento (Tabela 10, Figura 44). O comportamento constatado é condizente com o experimento I.

Para tomates *in natura*, a textura e a cor da casca são os atributos que os consumidores levam em consideração na aquisição dos frutos (TIJSKENS; EVELO, 1994), estando o primeiro relacionado com a firmeza da polpa (KADER; MORRIS; CHEN, 1978).

Os tomates de todos os tratamentos apresentaram valores aceitáveis de firmeza para comercialização, uma vez que foram superiores a 1,4 como indicado por Batu (2004). Segundo o mesmo autor, tomates que apresentam firmeza inferior a 1,28 N são difíceis de serem cortados, reduzindo sua venda em supermercados.

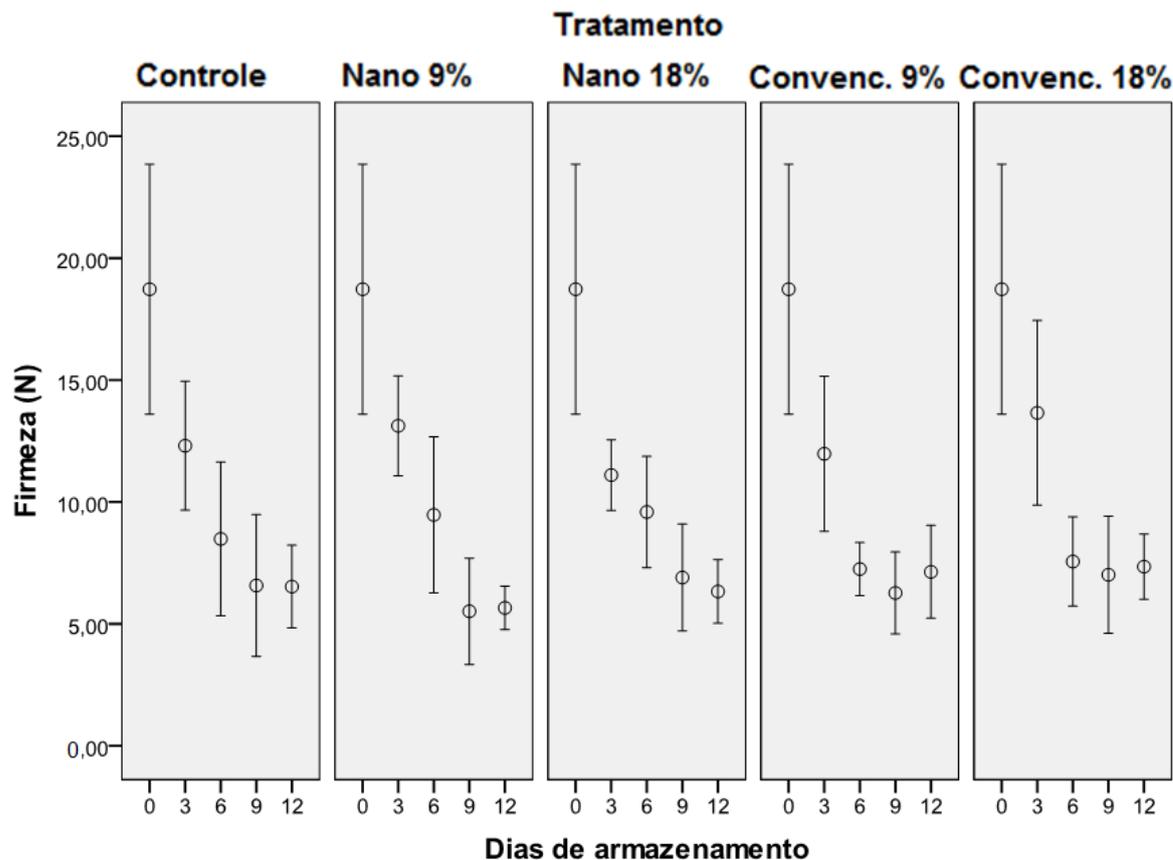


Figura 44. Firmeza (N) em tomates 'Pizzadoro' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Acidez titulável total (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e *ratio*

Os tratamentos não interferiram nos parâmetros de qualidade dos tomates, expressos pelo pH ($p=0,0633$), teor de sólidos solúveis ($p=0,206$) e *ratio* ($p=0,093$) (Tabela 10), enquanto a acidez total titulável foi influenciada pelos tratamentos ($p=0,014$), pelo período de armazenamento ($p<0,001$) e pela interação entre estes fatores ($p < 0,001$) (Tabela 10, Figura 45).

Observou-se discreta redução na acidez da polpa dos tomates ao longo dos doze dias de armazenamento, cujos teores variaram 0,4 para 0,2 mg de ácido cítrico/100g.

Apesar dos frutos revestidos com nanoemulsão a 18% terem apresentando maior acidez (Tabela 12), as diferenças entre os tratamentos foram pequenas, não sendo relevantes na prática.

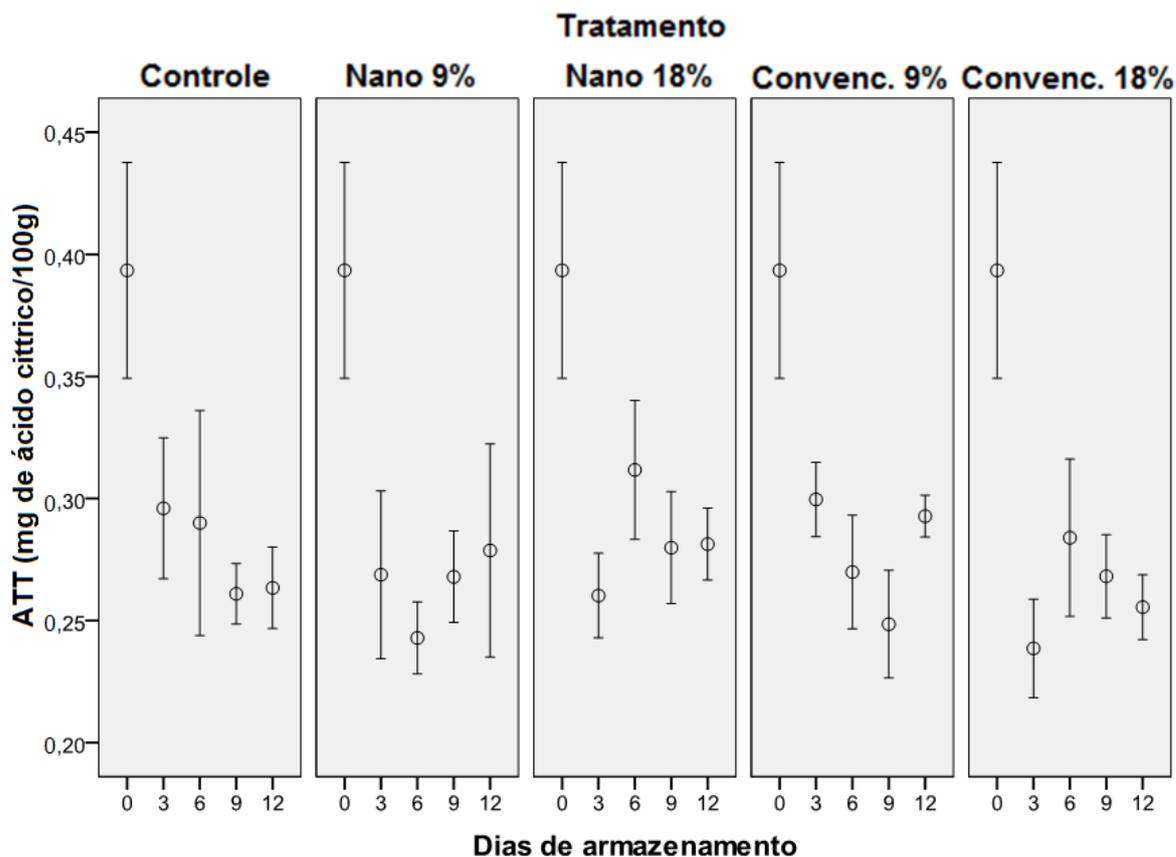


Figura 45. Acidez titulável na polpa de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Tabela 12. Valores médios de acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias.

Tratamentos	mg de ácido cítrico/100g
Controle	0,3008 ab
Nano 9%	0,2904 ab
Nano 18%	0,3053 a
Convenc. 9%	0,3009 ab
Convenc. 18%	0,2879 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Games-Howell ($p < 0,05$).

Os valores de pH dos tomates, de modo geral, se mantiveram ao longo do armazenamento, não apresentando efeito significativo do tempo ($p = 0,649$), discordando do verificado no experimento I. Não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,063$) (Tabela 10, Figura 46). As médias de pH estão dentro dos valores considerados normais para tomates de qualidade, estando próximos a faixa indicada por Jones (1998), de 4,0 e 4,5.

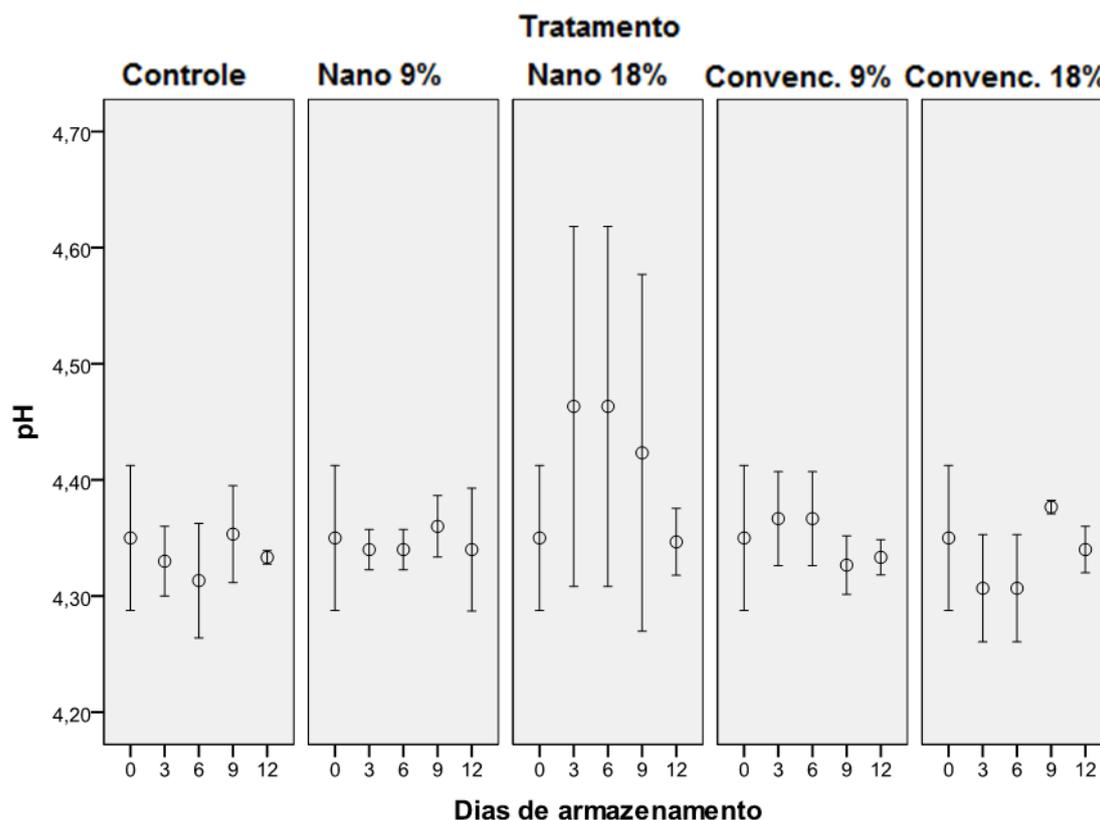


Figura 46. Valores de pH de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Houve manutenção dos teores de sólidos solúveis totais (SST) na polpa dos tomates de todos os tratamentos ao longo do tempo ($p=0,206$; $p=0,159$) (Tabela 10, Figura 47), o que foi diferente do constatado no experimento I, cujo comportamento foi caracterizado pela diminuição ao longo dos dias (Figura 37).

Os teores de sólidos solúveis encontrados neste trabalho foram semelhantes aos registrados por McDonald, McCollum e Baldwin (1999) em tomates ‘Sunbeam’ armazenados a 20°C por 11 dias, cujos valores foram próximos a 4,5°Brix. Segundo Kluge e Minami (1997) mudanças nestes teores ocorrem durante o amadurecimento e armazenamento do fruto, porém tal comportamento não foi verificado neste experimento.

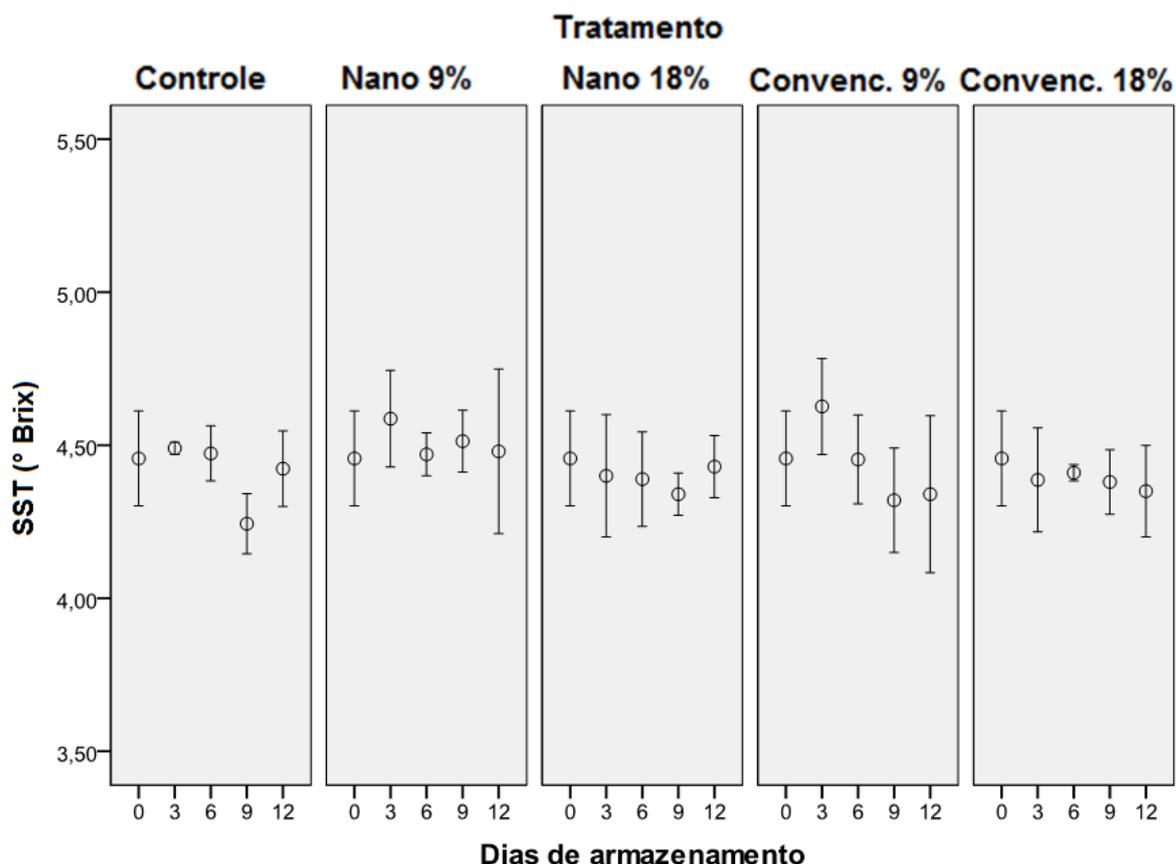


Figura 47. Sólidos solúveis totais em tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

O *ratio* aumentou significativamente de 11 ° Brix para 17° Brix, durante o período de armazenamento ($p < 0,001$) em todos os tratamentos, porém não houve diferença significativa entre eles ($p = 0,093$) e nem interação entre o efeito do tempo e dos tratamentos ($p = 0,093$) (Tabela 11, Figura 48). Segundo Kader, Morris e Chen et al. (1978), são considerados tomates de qualidade aqueles que apresentam acidez superior a 0,32% e relação SST/ATT maior que 10. Com base nesta afirmação, pode-se dizer que os frutos de todos os tratamentos se enquadram em tomates de qualidade, característica que foi mantida ao longo do armazenamento.

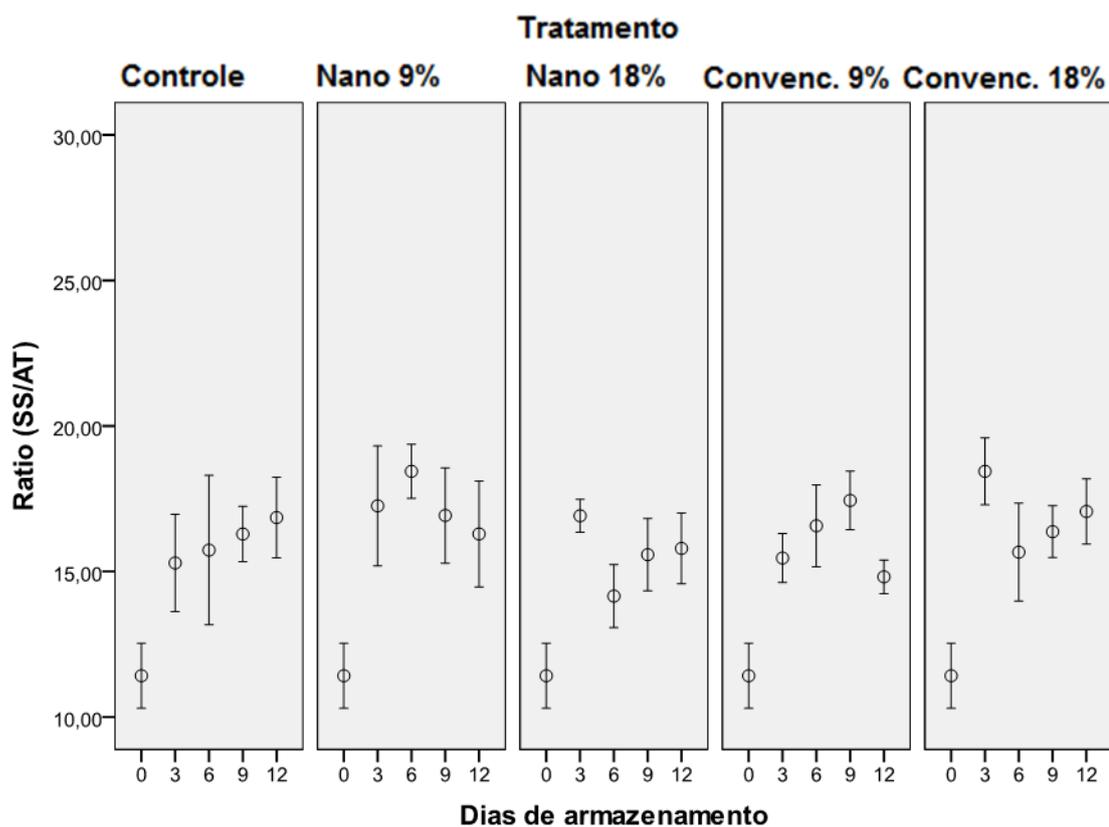


Figura 48. Ratio na polpa de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Coloração da casca

O parâmetro luminosidade da casca diminuiu significativamente durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), apresentando diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,008$), porém sem interação significativa entre eles ($p = 0,682$) (Tabela 11, Figura 49).

Esse comportamento era esperado, uma vez que a diminuição da luminosidade, expressa pelo escurecimento da casca é um evento característico do amadurecimento, devido à síntese de carotenóides e a perda da cor verde (SHEWFELT; THAI; DAVIS, 1988).

Os frutos controle apresentaram-se mais escuros (44,5) que os tomates revestidos com emulsões e nanoemulsões de cera de carnaúba maiores, os quais apresentaram valores médios de 45,5 a 46,3 (Tabela 13). Este é um indicativo de que os frutos tratados com cera permaneceram mais claros durante o armazenamento, o que não foi observado no experimento I.

Apesar das diferenças estatísticas, os valores de luminosidade mostraram-se muito próximos (diferença de 1,4), não sendo perceptíveis ao consumidor. Sharma e Bala (2002) sugerem que diferenças maiores de 2,3 são perceptíveis a olho humano.

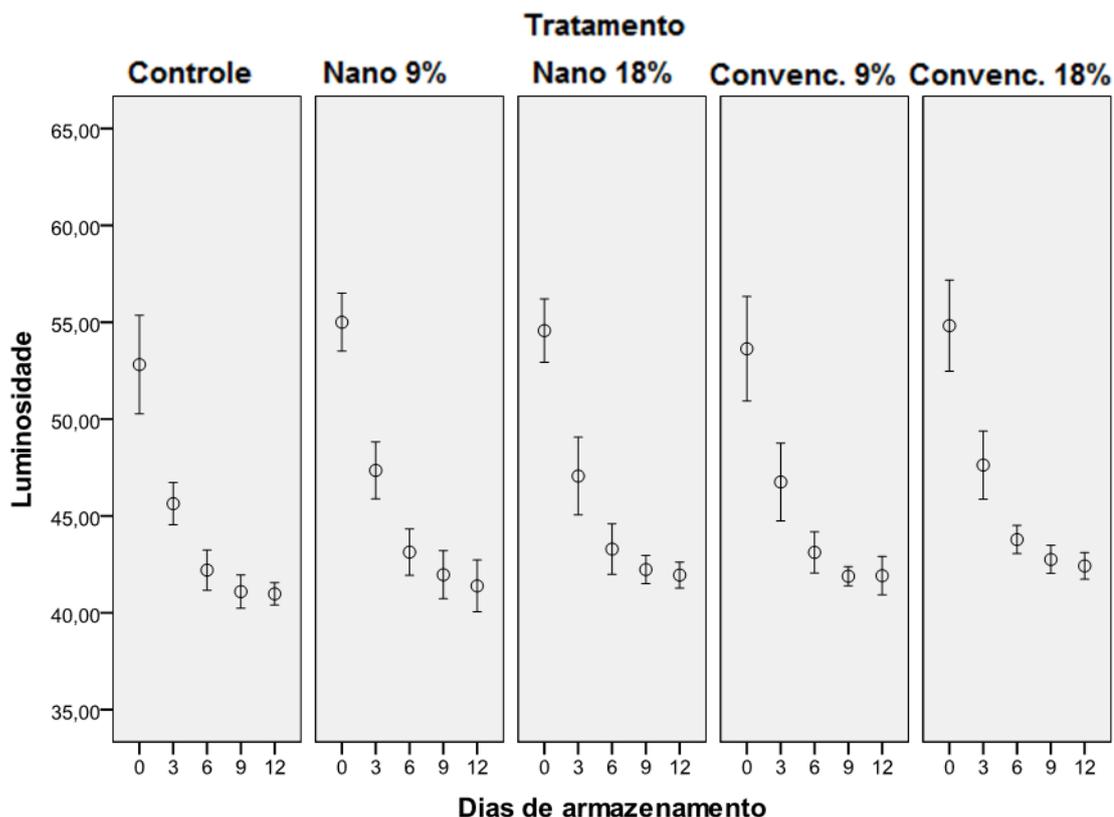


Figura 49. Luminosidade da casca de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Tabela 13. Valor médio de luminosidade da casca de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (80% UR) por 12 dias.

Tratamentos	Luminosidade
Controle	44,55b
Nano 9%	45,77a
Nano 18%	45,82a
Convenc. 9%	45,46a
Convenc. 18%	46,28a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente, entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

O valor a^* da casca foi influenciado pelo período de armazenamento ($p < 0,001$), pelos tratamentos ($p < 0,001$) e pela interação entre eles ($p < 0,001$) (Tabela 10, Figura 50).

Houve aumento do valor a^* ao longo dos dias de armazenamento, de 7,4 para 25,2, indicando que a cor dos frutos passou de verde para vermelho, como descrito por Arias et al. (2000). Comportamento semelhante foi observado no experimento I.

Os tomates controle foram os que apresentaram maior valor médio (18,4), indicando que estes frutos estavam mais vermelhos que aqueles que receberam revestimento de cera de carnaúba (Tabela 14).

Contudo, esta diferença pode ser imperceptível ao consumidor, uma vez que ela foi de 1,6, valor inferior ao limite de percepção pelo olho humano ($>2,3$), indicado por Sharma e Bala (2002).

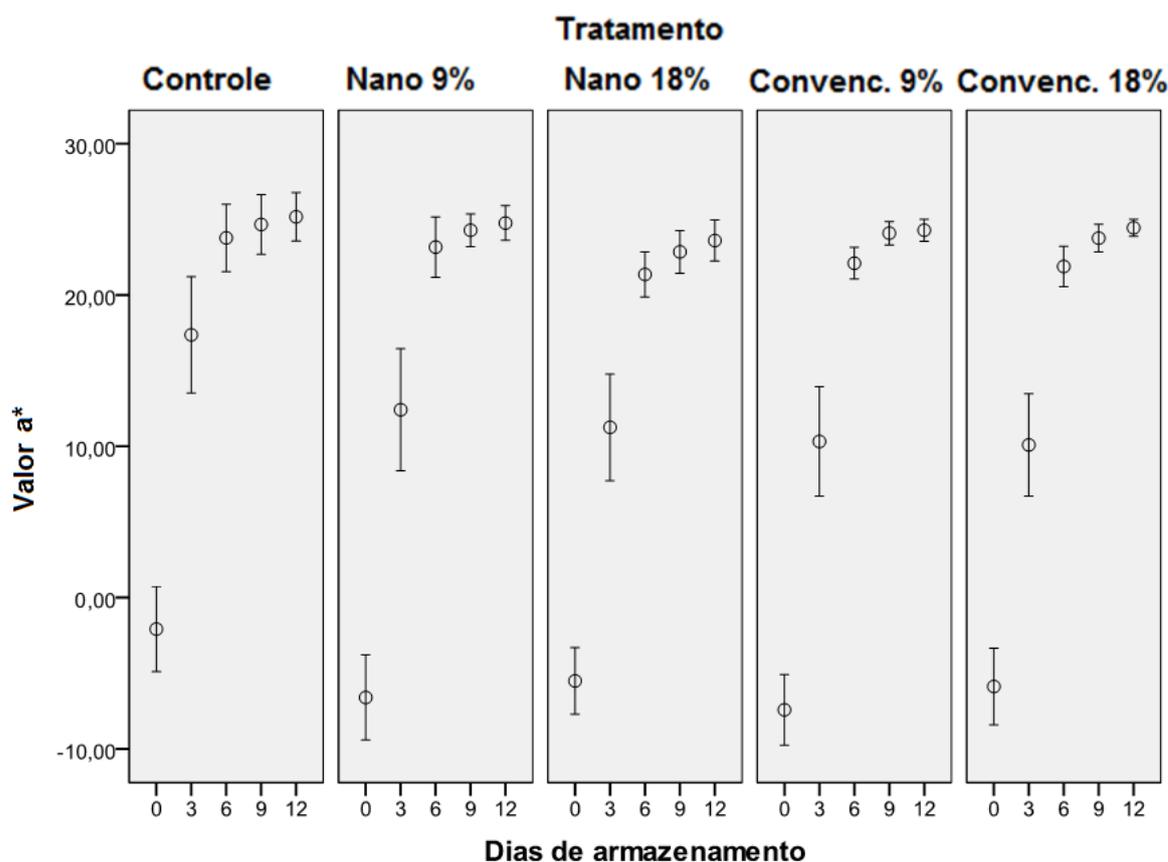


Figura 50. Valor de a^* em tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Tabela 14. Médias do valor a^* da casca de tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias.

Tratamentos	Valor a^*
Controle	18,43 a
Nano 9%	15,60 b
Nano 18%	14,71 b
Convenc. 9%	14,67 b
Convenc. 18%	14,86 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente, entre si, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Atividade respiratória, consumo de O_2 e produção de etileno

A atividade respiratória somente foi influenciada pelo período de armazenamento ($p < 0,001$) (Tabela 10, Figura 51). Tal qual no experimento I, ocorreu maior produção de CO_2 nos primeiros dias de armazenamento, possivelmente, devido ao estresse sofrido na colheita e mesmo adotando cuidados durante o transporte (caixas plásticas acolchoadas com plástico bolha) e manuseio dos frutos. A partir do 4º dia, essa atividade foi diminuída em decorrência da senescência dos frutos.

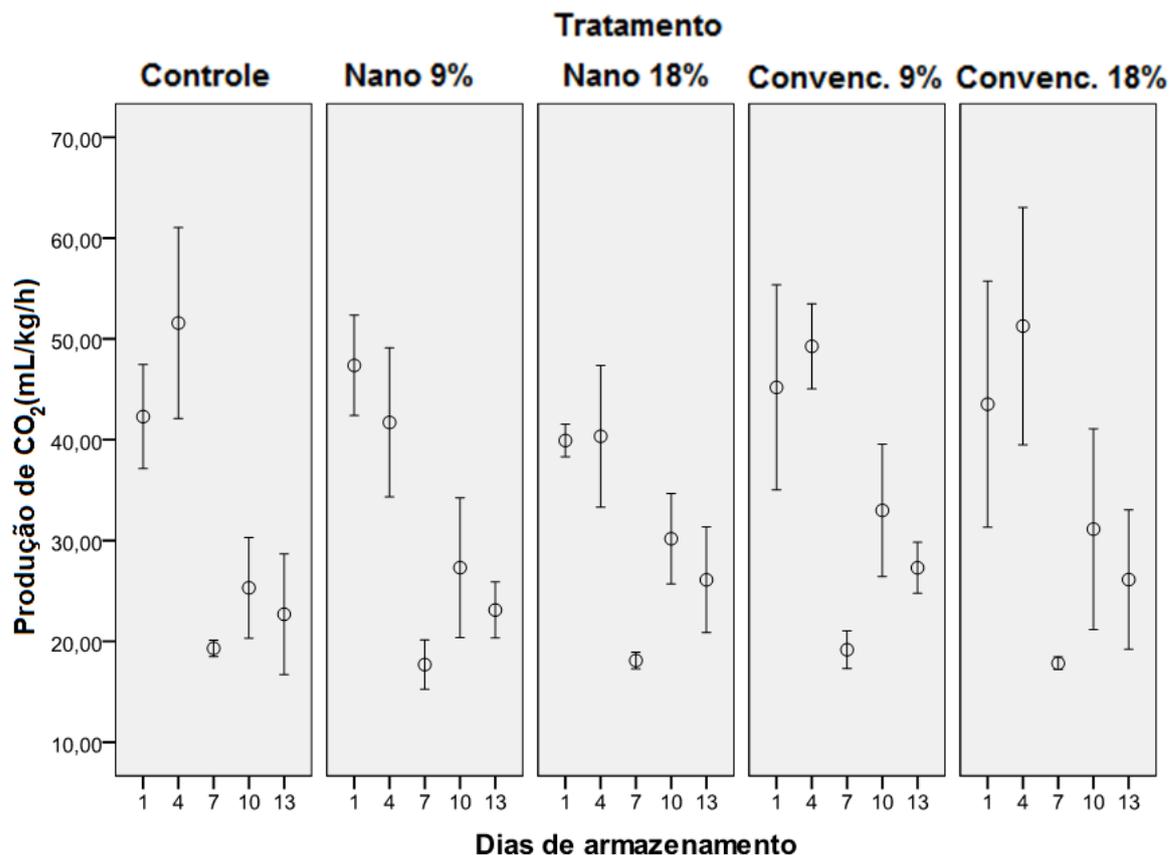


Figura 51. Produção de CO₂ em tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média ± DP.

A taxa de consumo de O₂ foi apenas afetada pelo tempo de armazenamento ($p < 0,001$) (Tabela 10, Figura 52). Esta taxa apresentou comportamento semelhante à atividade respiratória (Figura 51). A exemplo do experimento I houve maior consumo de O₂ nos primeiros dias de avaliação, provavelmente devido a aceleração do metabolismo em decorrência do estresse sofrido nas etapas de colheita e transporte, seguido de diminuição nos últimos dias, em decorrência dos mecanismos de maturação e envelhecimento dos frutos.

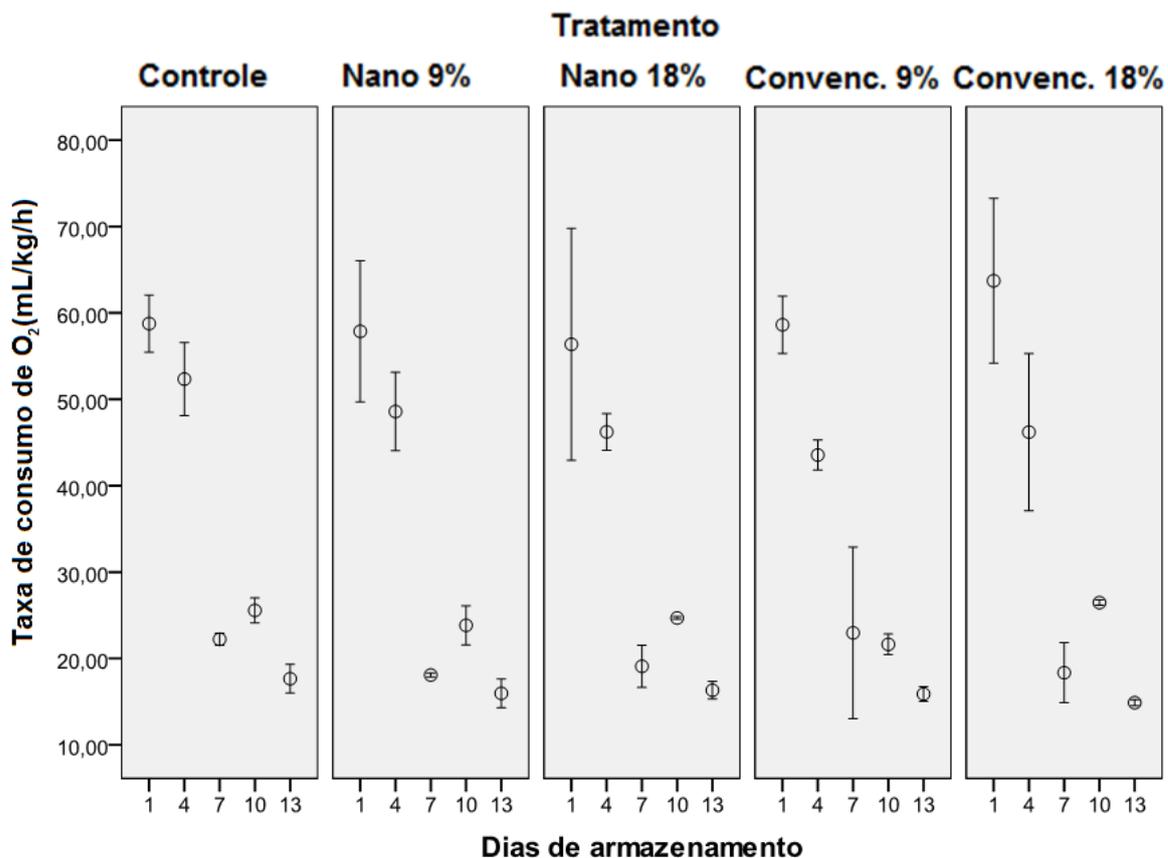


Figura 52. Taxa de consumo de O₂ em tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média ± DP.

A produção de etileno dos tomates diminuiu significativamente durante o período de armazenamento ($p < 0,001$), independente do tratamento ($p = 0,406$), não apresentando interação entre fatores ($p = 0,019$) (Tabela 10, Figura 53).

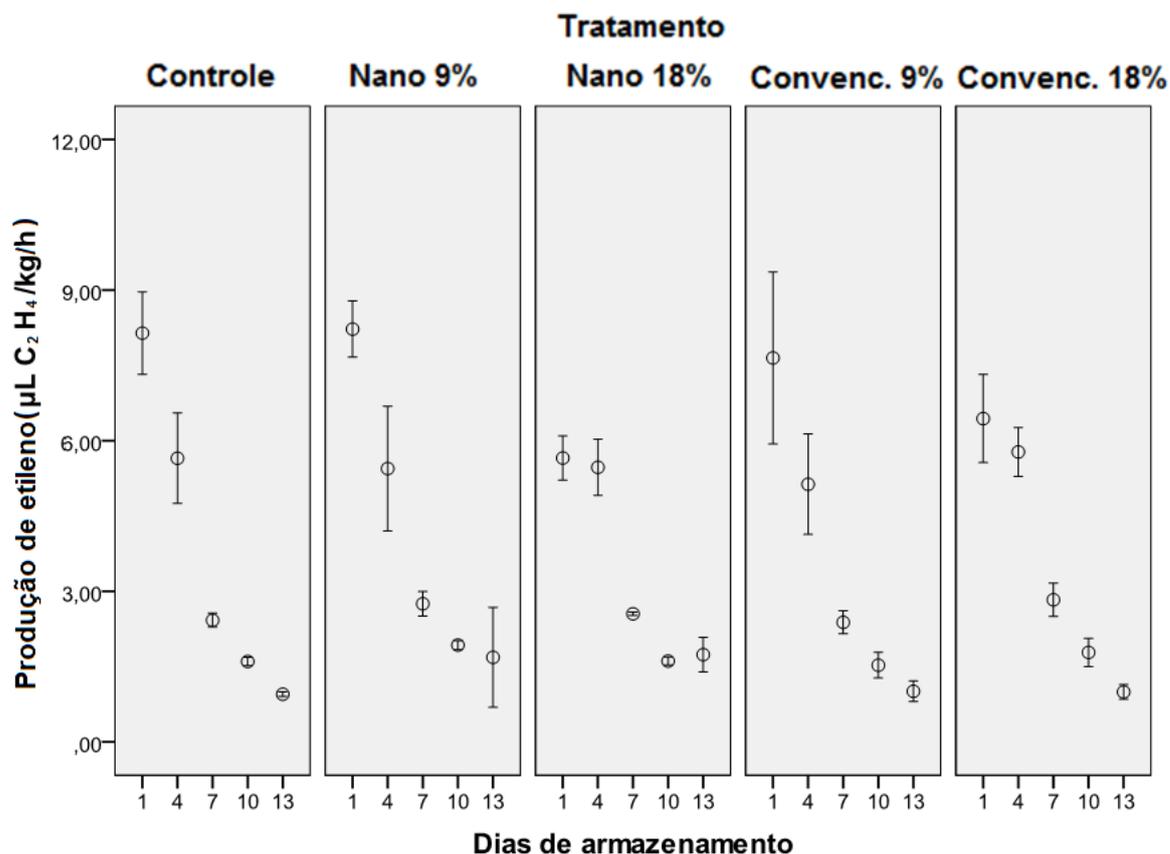


Figura 53. Produção de etileno em tomates ‘Pizzadoro’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 12 dias. As barras de erro representam a média \pm DP.

Os resultados encontrados nas avaliações para produção de etileno, atividade respiratória e taxa de consumo de O₂, concordam com os aferidos no experimento I, indicando que os revestimentos convencionais e nanoestruturados não foram barreiras eficientes para controlar as trocas gasosas entre os frutos e o ambiente. Estes resultados contrariam estudos prévios da literatura, os quais indicam que revestimentos lipídicos proporcionam uma barreira parcial para umidade e troca de gases, ajudando a manter a integridade estrutural e promover a retenção de compostos voláteis aromáticos (LIN; ZHAO, 2007).

As avaliações de gases do experimento II reforçam a afirmação que as diferenças na coloração e na acidez foram sutis, não sendo consideráveis do ponto de vista prático, em outras palavras, justificam a ausência de efeito dos revestimentos no retardo do amadurecimento dos tomates.

Conclusão do Experimento II

A aplicação de cera de carnaúba nas formas de emulsão e de nanoemulsão em tomates ‘Pizzadoro’ não retardou o amadurecimento dos frutos, porém foram eficientes na redução de perda de massa.

Experimento III: Análise sensorial de tomates ‘Débora’ revestidos com emulsão convencional e nanoemulsão de cera de carnaúba em diferentes concentrações

A análise sensorial com provadores permitiu avaliar a aceitação, intenção de compra e ordenação de preferência dos frutos submetidos aos diferentes tratamentos, além de verificar os atributos mais relevantes. Observaram-se diferenças nos tratamentos para todos os atributos analisados (Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância (anova) não paramétrica para os atributos sensoriais de tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados a 23 ± 1 °C (80% UR) por 10 dias.

Variáveis	Tratamentos (p-valores)
Cor	0,0043
Brilho	< 0,001
Textura	< 0,001
Aparência	< 0,001
Intenção de compra <i>in natura</i>	< 0,001
Intenção de compra processado	0,0008
Ordenação por preferência	< 0,001

Análise sensorial de aceitação

Cor dos tomates

Os tomates tratados com nanoemulsão 18% receberam os maiores escores, sendo que 54,7% dos participantes atribuíram notas entre 9 e 12 (gostou muito) para a cor destes (Figura 54). Verificou-se também que 49,1% dos provadores atribuíram notas superiores a 8 à cor dos tomates tratados com nanoemulsão a 9%, enquanto os revestidos com emulsão convencional (18%) e controle este percentual foi de 34%. Tomates recobertos com emulsão convencional

9% foram os que receberam o menor percentual (30,2%) desta nota. Este é um dado relevante, uma vez a coloração em tomates é a característica externa mais importante na determinação de sua maturação e estimativa de vida pós-colheita, sendo um fator determinante na decisão de compra do consumidor (LOPEZ CAMELO; GÓMEZ, 2004).

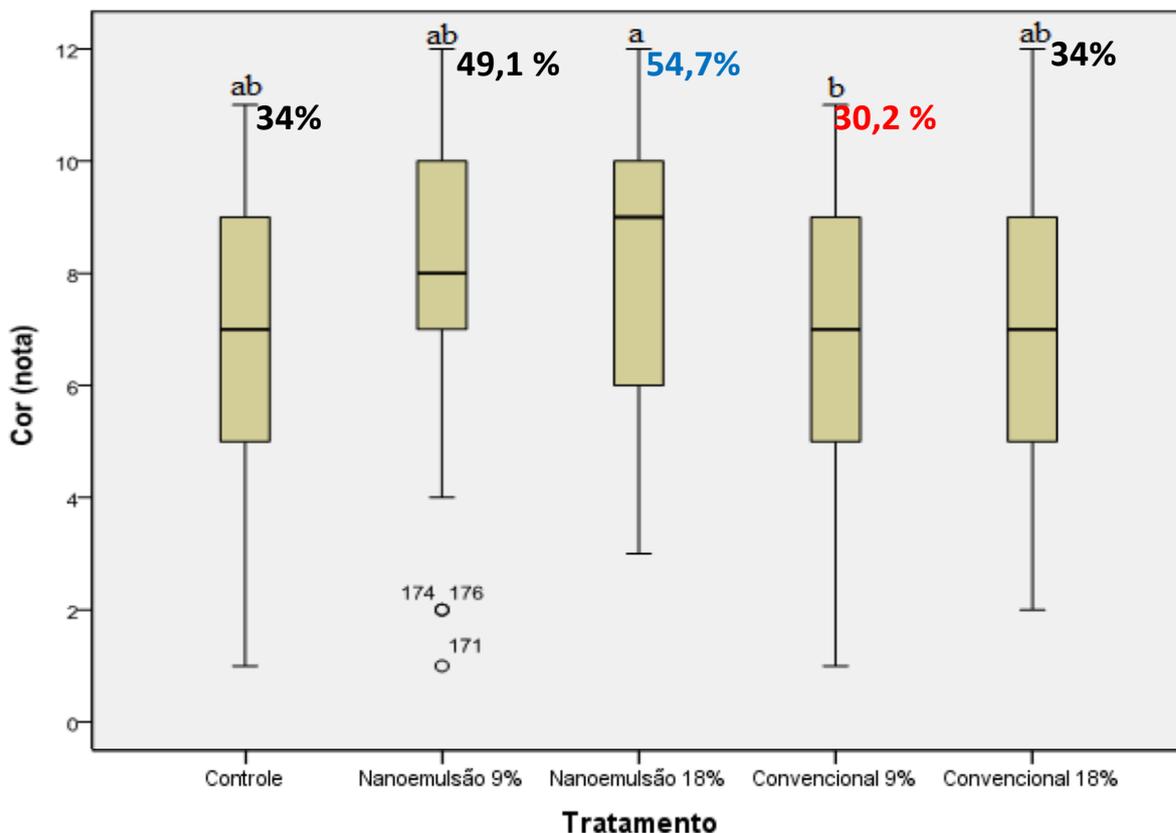


Figura 54. Distribuição de notas de cor e porcentagem de provadores que indicaram nota maior que 8 aos tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados por 10 dias a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ (80% UR). As barras de erro representam a média \pm DP e a classificação das medianas realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Brilho em tomates

Os tomates que receberam a nanoemulsão a 18% obtiveram os maiores escores, sendo que 84,9% dos provadores atribuíra notas entre 7 e 12 para o atributo brilho (Figura 55). Os frutos revestidos com nanoemulsão a 9% e controle receberam notas superiores a 6 por 60,4% e 45,3% dos provadores, respectivamente. Os tomates tratados com emulsão convencional a 9% e 18% apresentaram a menor porcentagem pelos provadores (41,5% e

28,3%, respectivamente), indicando que foram os tratamentos menos aceitos em relação ao brilho.

Para o atributo brilho dos tomates, a nanoemulsão de cera de carnaúba a 18% apresentou maior escore e aceitação pelos provadores. Com base nesses resultados, pode-se dizer que tomates com esse revestimento teriam boa aceitação pelos consumidores, em detrimento aos frutos revestidos com a emulsão convencional a 9% e 18% (Figura 56).

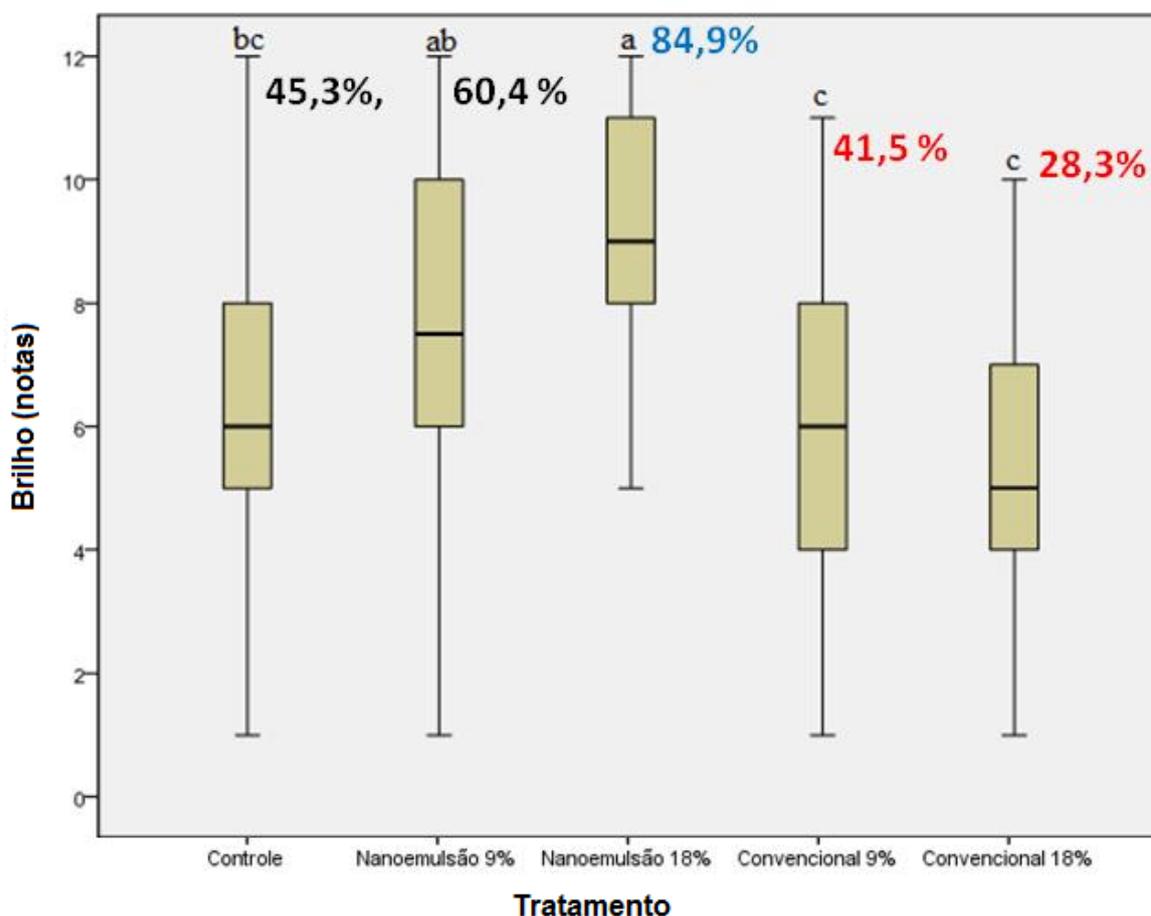


Figura 55. Distribuição de notas de brilho e porcentagem de provadores que indicaram nota maior que 6 aos tomates 'Débora' submetidos a diferentes tratamentos e armazenados por 10 dias a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ (80% UR). As barras de erro representam a média \pm DP e a classificação das medianas realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

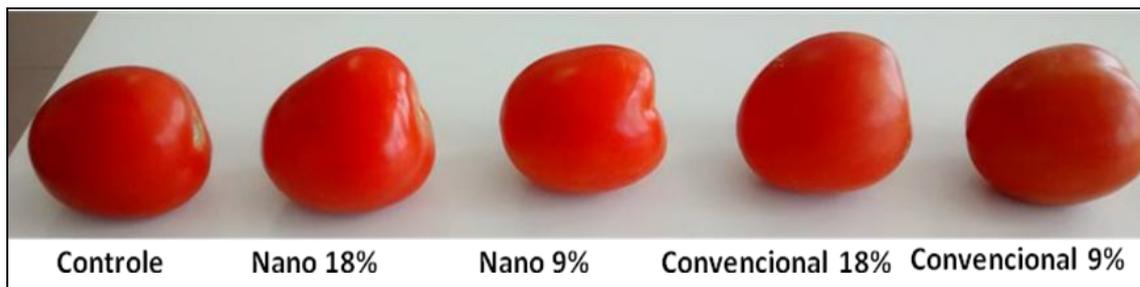


Figura 56. Brilho conferido aos tomates ‘Débora’ revestidos com nanoemulsão 18 e 9% em relação à emulsão convencional e controle.

Textura visual

Os tomates que receberam a nanoemulsão a 9% e 18% e a emulsão convencional a 18% apresentaram os maiores percentuais de notas entre 9 e 12 (43,4%; 41,5% e 39,6%, respectivamente) (Figura 57). Os frutos revestidos com a emulsão convencional a 9% e os do controle não diferiram quanto a textura visual, com 32,1% e 20,8% dos participantes atribuindo nota superior a 8 e ao mesmo tempo foram os menos aceitos para esta variável.

A textura de tomates é influenciada pela firmeza da polpa, a qual está correlacionada com a aparência superficial dos tomates (YANG; CHINNAN, 1988). Batu (2004) também indica que a textura, a cor, a forma e a firmeza ao tato como importantes parâmetros no momento da compra.

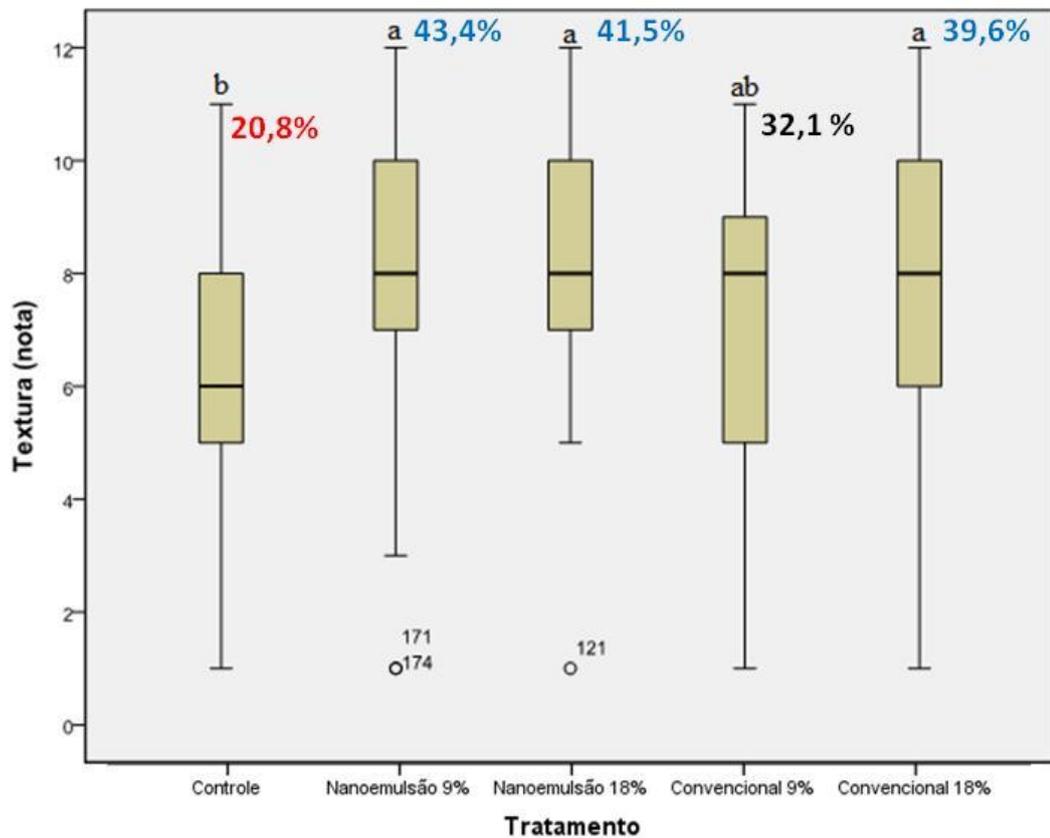


Figura 57. Distribuição de notas de textura e porcentagem de provadores que indicaram nota maior que 8 aos tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados por 10 dias a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ (80% UR). As barras de erro representam a média \pm DP e a classificação das medianas realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Aparência global

Os tomates revestidos com nanoemulsão a 18% e a 9% apresentaram os maiores escores para aparência geral, com 83,0% e 75,5 % dos participantes, respectivamente, atribuindo notas entre 9 e 12 (Figura 58).

Os frutos tratados com emulsão convencional a 18% e 9% receberam notas intermediárias, com 54,7% e 52,8%, respectivamente dos participantes atribuindo nota maior que 8, enquanto que apenas 49,1% dos julgadores atribuíram esta nota aos frutos controle.

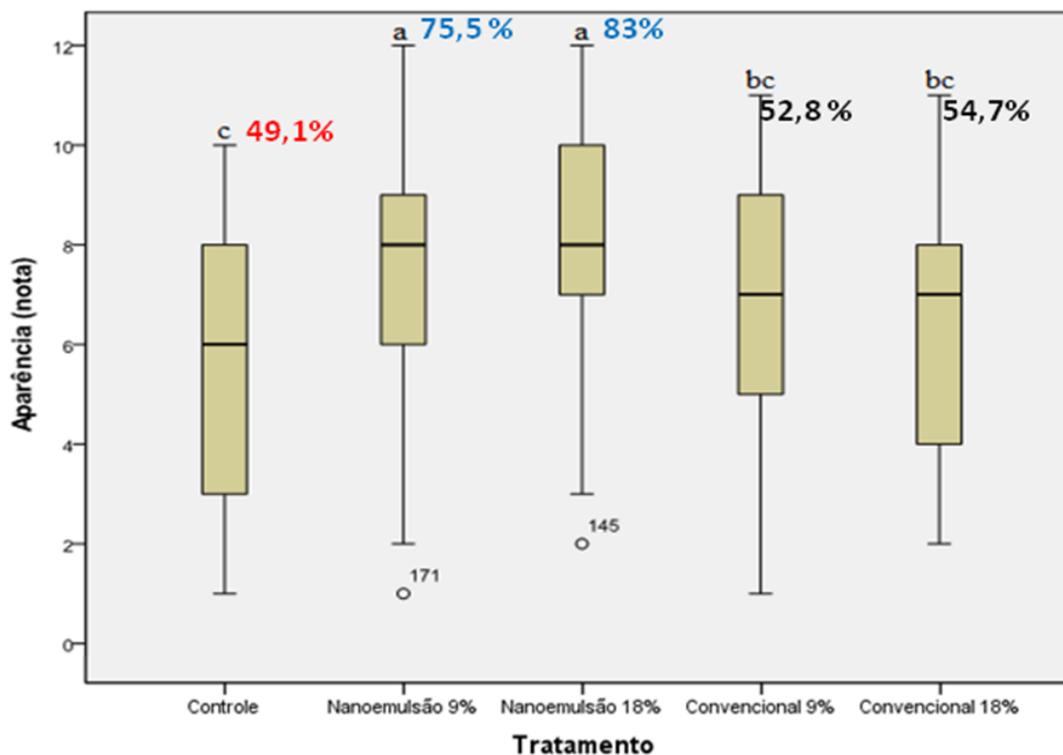


Figura 58. Distribuição de notas de aparência e porcentagem de provadores que indicaram nota maior que 8 aos tomates ‘Débora’ submetidos a diferentes tratamentos e armazenados por 10 dias a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ (80% UR). As barras de erro representam a média \pm DP e a classificação das medianas realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

A aparência dos tomates é um fator relevante quando destinados ao consumo *in natura*, uma vez que contribui para a atratividade, exercendo influência direta sobre a escolha do consumidor, o qual na maioria das vezes tem preferência por cultivares de tomates que apresentam casca mais vermelha (JERÔNIMO et al., 2007).

Neste estudo, os tomates revestidos com nanoemulsão receberam os maiores escores de aparência global, indicando maior aceitação dos frutos que receberam este revestimento. Tal resultado pode ter relação com o menor tamanho de partícula, o que conferiu maior brilho aos tomates, em relação aos revestidos com maior tamanho de partícula.

Teste de intenção de compra

Tomates para consumo *in natura*

A análise de intenção de compra de tomates finalidade *in natura* mostrou que 61,2% dos julgadores “provavelmente comprariam” ou “decididamente comprariam” os tomates

tratados com nanoemulsão a 9% e a 18% (Figura 59). Os frutos revestidos com emulsão convencional a 18% receberam a mesma intenção por 42,9%, enquanto 32,7% e 30,6%, dos provadores indicaram esta intenção aos tomates tratados com emulsão convencional a 9% e controle.

Os tomates tratados com nanoemulsão apresentaram maior intenção de compra que os demais tratamentos para a finalidade consumo *in natura*, podendo ter associação com a aparência dos mesmos (Figura 54).

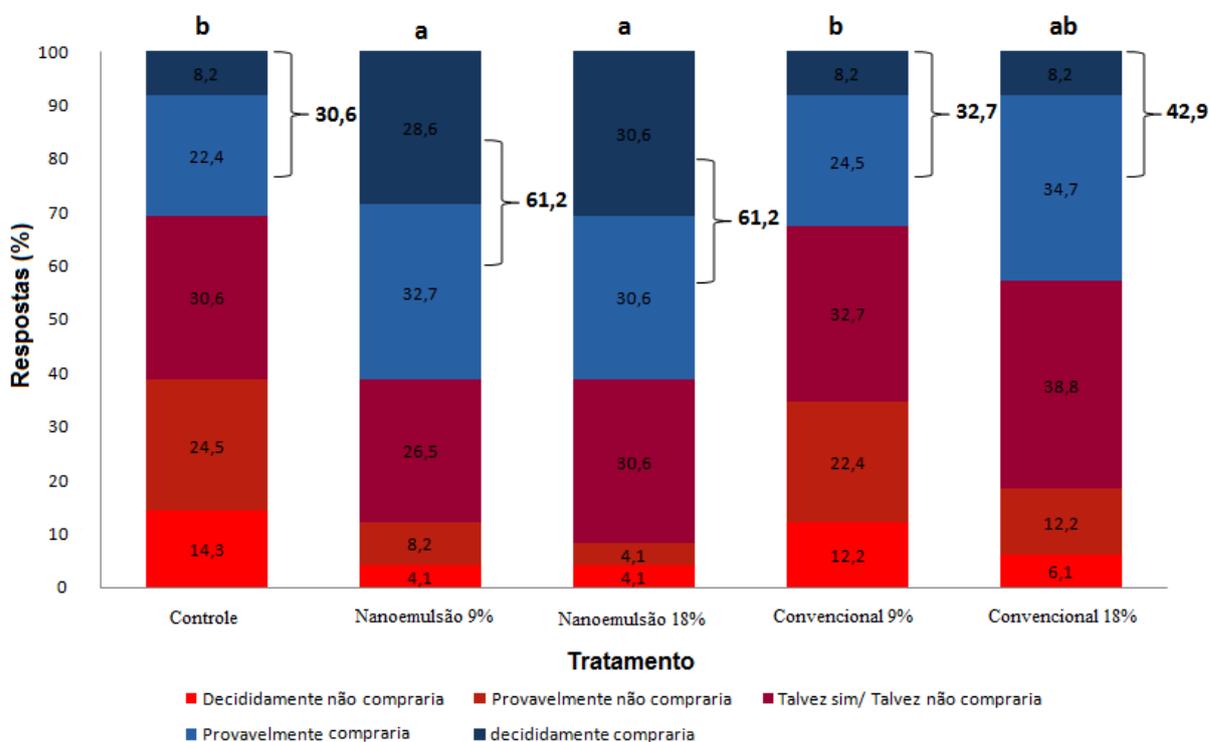


Figura 59. Frequência de avaliação sensorial de tomates ‘Débora’ submetidos aos diferentes tratamentos em relação à intenção de compra para consumo *in natura*. Classificação das medianas foi realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal- Wallis ($p < 0,05$).

Tomates para consumo na forma processada

Os frutos tratados com nanoemulsão a 9% receberam as indicações de que “provavelmente ou decididamente comprariam” por 85,7% dos provadores (Figura 60). Em relação aos demais tratamentos, os tomates com emulsão convencional a 9% e nanoemulsão a 18% apresentaram intenção intermediária, com 81,6 e 73,5% dos provadores. Já os frutos com emulsão convencional a 18% e os do controle receberam esta intenção por 63,3% e 59,2% dos

participantes, respectivamente, sendo significativamente inferior aos tomates revestidos com nanoemulsão a 9%.

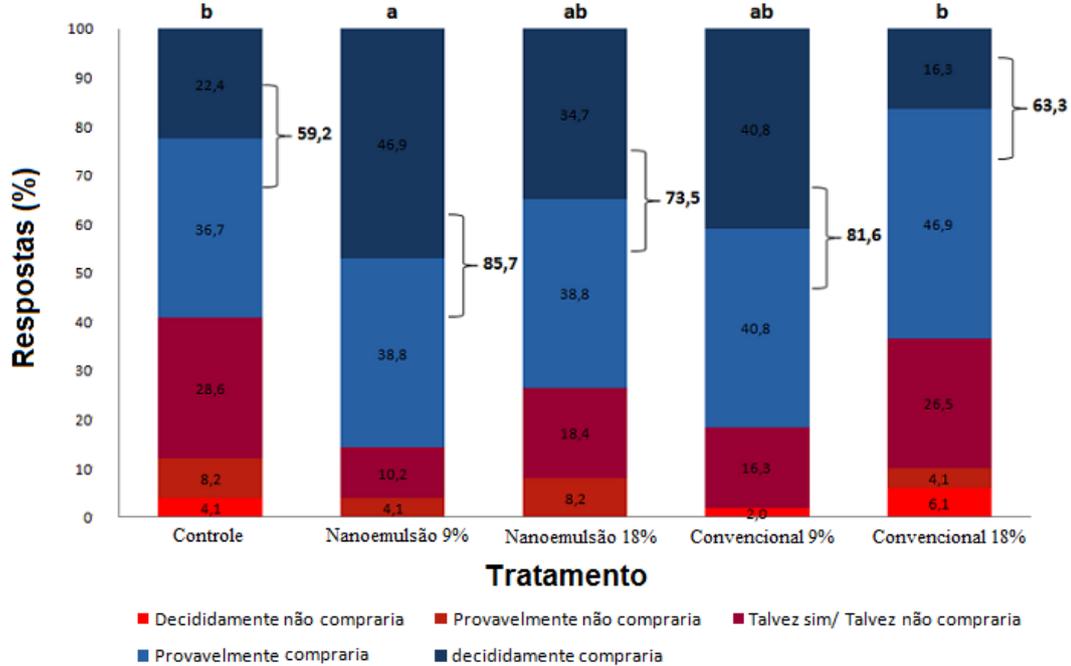


Figura 60. Frequência de avaliação sensorial de tomates ‘Débora’ submetidos aos diferentes tratamentos em relação à intenção de compra na forma processada. Classificação das medianas foi realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal- Wallis ($p < 0,05$).

A análise de intenção de compra em tomates revestidos com as diferentes emulsões permitiu inferir que a nanoemulsão 9% apresentou maior intenção de compra, sendo a mais aceita tanto para a finalidade *in natura* quanto para a processada. Os tratamentos com emulsão convencional a 18% e controle apresentaram maior porcentagem de rejeição.

Teste de ordenação das amostras pela preferência

Verificou-se na escala onde os provadores ordenaram as amostras em ordem decrescente de preferência, que os tomates revestidos com nanoemulsão a 18 e a 9% foram os preferidos pelos julgadores (69,8% e 64,2%), respectivamente (Figura 62). Já os frutos controle e os tratados com emulsão convencional a 18 e a 9% foram os tratamentos menos preferidos.

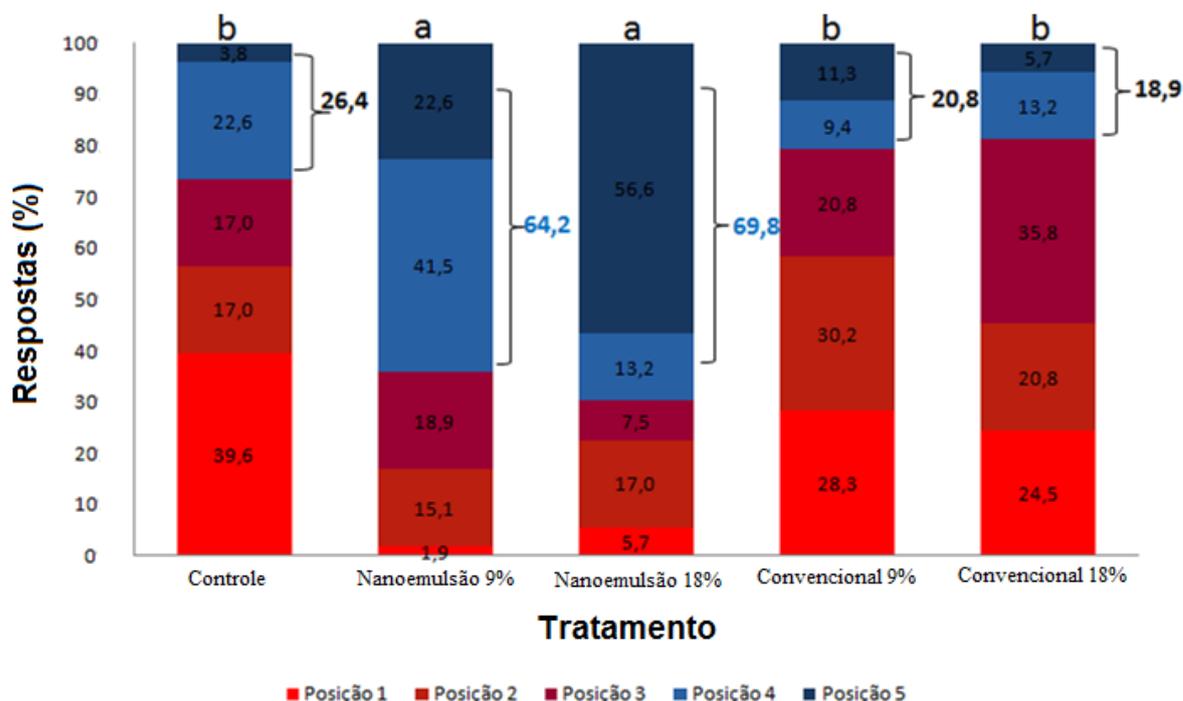


Figura 61. Ordenação dos tratamentos pelos 53 provadores em ordem decrescente de preferência, sendo 5 o tratamento mais preferido e 1 o menos preferido. Classificação das medianas foi realizada pelo teste de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Portanto, os tratamentos com nanoemulsão obtiveram as melhores classificações pelos julgadores (Tabela 16) para as variáveis do teste de aparência visual, intenção de compra e ordenação, correspondendo aos tomates mais preferidos e aceitos pelos provadores.

Tabela 16. Classificação das medianas de cada atributo sensorial para os testes de aceitação, intenção de compra e preferência.

Atributos	Tratamentos				
	Controle	Nano 9%	Nano 18%	Convenc. 9%	Convenc. 18%
Textura	b	a	a	ab	a
Brilho	bc	ab	a	c	c
Aparência	c	a	a	bc	bc
Cor	ab	ab	a	b	ab
Compra “in natura”	b	a	a	b	ab
Compra processado	b	a	ab	ab	b
Ordenação preferência	b	a	a	b	b

Conclusão do experimento III

Os frutos revestidos com nanoemulsão foram os preferidos e mais aceitos pelos consumidores para consumo nas formas *in natura* e processada, o que foi atribuído a aparência visual, conferida pelo menor tamanho de partícula da nanoemulsão.

6. CONCLUSÕES

A síntese de emulsão de cera de carnaúba na forma de nanoemulsão é possível, originando partículas nanométricas, estáveis e baixa dispersão de tamanho.

A caracterização e as avaliações de qualidade pós-colheita dos tomates ‘Débora’ e ‘Pizzadoro’ revestidos mostraram que a nanoestruturação do material de cera de carnaúba não alterou as propriedades de permeação de barreira de água das películas, sendo semelhantes ao revestimento convencional.

A análise sensorial demonstrou que os frutos revestidos com nanoemulsão de cera de carnaúba, foram os preferidos e mais aceitos para o consumo nas formas *in natura* e processada, o que foi atribuído a aparência visual conferida pelo menor tamanho de partícula deste revestimento.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

Entre as sugestões para trabalhos futuros, destacamos:

- ✓ Avaliação da aplicação dos revestimentos nanoestruturados para outros modelos (frutas e hortaliças).
- ✓ Avaliação da penetração das partículas de 40nm de cera de carnaúba na cicatriz formada na região do pedúnculo, que corresponde ao ponto de trocas gasosas no tomate e alterações no sabor e odor também poderiam ser investigadas.
- ✓ Realização de medidas de análise superficial do revestimento formado através da técnica de microscopia de força atômica, visando à investigação da formação de poros, rugosidade e relevo das películas formadas.
- ✓ Utilização desses revestimentos como portador ou matriz para extratos naturais de plantas com atividade antimicrobiana, para avaliação do efeito contra microorganismos deteriorantes.

8. REFERÊNCIAS

- ABURTO, J. et al. Properties of octanoated starch and its blends with polyethylene. *Carbohydrate Polymers*, v. 34, n. 1-2, p. 101–112, 1997.
- AGRIANUAL 2014: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativo, 2014, p. 480.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos. [s.l: s.n.]. v. 1, 2004, p.52.
- ARIAS, R. et al. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1697–1702, 2000.
- ARTÉS, F. et al. Keeping quality of fresh-cut tomato. **Postharvest Biology and Technology**, v. 17, n. 3, p. 153–162, 1999.
- ARTÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; TIJSKENS, L. M. Quality and shelf life of tomatoes improved by intermittent warming. **LWT - Food Science and Technology**, v. 31, n. 5, p. 427–431, 1998.
- ASSIS, O. B. G.; SILVA, V. L. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. **Polímeros**, v. 13, n. 4, p. 223–228, 2003.
- ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A. A pesquisa em filmes comestíveis na Embrapa Instrumentação Agropecuária. In: Workshop da rede de nanotecnologia aplicada ao agronegócio, 3., 2007, Londrina, PR. **Anais do III Workshop da Rede de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. p. 53-55.
- ASSIS et al. Aplicação de ceras em frutas e hortaliças. In: **Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças**. Ferreira, M. D. (Org.) – São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008, p.144.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87-97, 2014.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 16 ed. Washington: Ed. PatríciaCunniff, v. 2, cap. 37, método 932.12, 1997.
- ATTAMA, A. A. et al. Solid lipid nanodispersions containing mixed lipid core and a polar heterolipid: Characterization. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 67, n. 1, p. 48–57, 2007.

AZZINI, R. G. **Desenvolvimento e avaliação in vitro e in vivo de emulsões contendo óleo de canola e ácidos carboxílicos**. 1999. 169p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

AYANNIDES, C. A.; KTISTIS, G. Stability estimation of emulsions of isopropyl myristate in mixtures of water and glycerol. **Journal of cosmetic science**, v. 53, n. 3, p. 165–173, 2002.

BAI, J.; BALDWIN, E.A.; HAGENMAIER, R.D. Alternatives to shellac coatings provide comparable benefits in terms of gloss, internal gases modification, and quality of Delicious' apple fruit. **HortScience**. v.37, p.559-563, 2002.

BALDWIN, E.; NISPEROS-CARRIEDO, M.; BAKER, R. Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. **HortScience**, v. 30, n. 1, p. 35–38, 1995.

BALDWIN, E. A. et al. Relationship between sensory and Instrumental analysis for tomato flavor. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.123, n. 5, p. 906-915, 1998.

BARBOSA, N.C. **Taxa de respiração do mamão em função das diferentes condições de atmosferas de armazenamento em temperatura ambiente**. 2013. 71p. Dissertação (Mestrado). Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BATU, A. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 471–475, 2004.

BELBEKHOUCHE, S. et al. Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 4, p. 1740–1748, 2011.

BENGTSSON, M.; KOCH, K.; GATENHOLM, P. Surface octanoylation of high-amylose potato starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 1, p. 1–11, 2003.

BHOWMIK, S.R.; PAN, J.C. Shelf life of mature green tomatoes stored in controlled atmosphere and high humidity. **Journal of Food Science**, v.57, n.4, p.948-953, 1992.

BLEINROTH, E. W.; et al. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. 1992. 203p. (Manual técnico, 9). ITAL- Rede de Núcleos de Informação Tecnológica, Campinas, 1992.

BRASIL. ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução – RDC n.º 123, de 19 de junho de 2001 – Aprova o Regulamento Técnico sobre Embalagens e Equipamentos Elastoméricos em Contato com Alimentos. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/Anvisa+Portal/Anvisa/Inicio/Alimentos/Publicacao+Alimentos/Embalagens>>. Acesso em: 22/05/2012.

BRASIL. ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução – RDC n.º 2, de 15 de janeiro de 2007 – **Regulamento Técnico Sobre Aditivos Alimentares**. Disponível em:<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9a67750047457f218ac0de3fbc4c6735/RDC_2_2007.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 20/05/2012.

BRECHT, J. K. Harvest and handling techniques. In: BARTZ, J. A. (Ed). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. 2. ed. , p. 383-392, 2002.

BRITTO, D.; ASSIS, O. B. G. Synthesis and mechanical properties of quaternary salts of chitosan-based films for food application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 41, n. 2, p. 198–203, 2007.

BRUNO, F. F. et al. Enzymatic modification of insoluble amylose in organic solvents. **Macromolecules**, v. 28, n. 26, p. 8881-8883, 1995.

BORGUINI, R. G. **Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor**. 2002. 110 p. Dissertação (Mestrado). Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Respiração de frutas e hortaliças**. ed. 1. Brasília: Embrapa, 2007, 10p.

CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. DE. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 521–526, 2007.

CARVALHO FILHO, C. D. **Avaliação da vida de armazenagem e qualidade de cerejas (*Prunus avium* L.) cv. Ambrunés, com a utilização de coberturas comestíveis**. 2000. 134 p. Tese (Doutorado) – FEAGRI, UNICAMP, Campinas, 2000.

CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Programa Horti & Fruti Padrão – Classificação do tomate**. Câmara Setorial de Hortaliças do Estado de São Paulo, 1998.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 1.ed. Campinas: Editora UNICAMP, 1999. 207 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D. Qualidade pós-colheita de tomate de mesa utilizando ceras comestíveis à temperatura ambiente. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro, SP. **Anais SBEA**, 4.p. 2004.

CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D. Qualidade pós-colheita de tomates “Débora” com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 381–385, 2006.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 20–27, 2014

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

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. Tomates longa vida: o que são, como foram desenvolvidos. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 01, p. 3-4, 2000.

DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C.; **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**, São Paulo: Artliber, 2006, 208 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura do tomateiro (para a mesa)**. Brasília: Embrapa - SPI, 1993. 92p

FACHIN, D. **Temperature and pressure inactivation of tomato pectinases: a kinetic study**. 2003. 133 p. Proefschrift (Doctorants in de Toegepaste Biologische Wetenschappen door). Katholieke Universiteit Leuven.

FAO. 2011. **Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention**. Rome. Disponível em <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/GFL_web.pdf>. Acesso em: 3 de jan. 2013.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/>>. Acesso em: 26 de fev. de 2015.

FERREIRA, S. N. R. **Características de qualidade do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba-PR**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FEYGENBERG O; HERSHKOVITZ V; NITITENKO T. Postharvest use of organic coating for maintaining bio-organic avocado and mango quality. **Acta Horticulturae**, v. 682, p.1057-1061, 2005.

FONTES, P. C. R. Produtividade do tomateiro: kg/ha ou kg/ha/dia? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 4, p. 83-84, 1997.

FOX, C. Rationale for the selection of emulsifying agents. **Cosmetics & Toiletries**, v.101, n. 11, p.25 – 44, 1986.

FRASER, P. D. et al. Carotenoid Biosynthesis during Tomato Fruit Development (Evidence for Tissue-Specific Gene Expression). **Plant physiology**, v. 105, n. 1, p. 405–413, 1994.

GÖRNER, T., et al. Lidocaine –loaded biodegradable nanospheres. I. Optimization of the drug incorporation into the polymer matrix. **J. Control**, v. 57, p. 259-268, 1999.

GOULAS, V.; MANGANARIS, G. A. The effect of postharvest ripening on strawberry bioactive composition and antioxidant potential. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 10, p. 1907–1914, 2011.

GUILHERME, D. O. et al. Análise sensorial e físico-química em frutos de tomate cereja orgânicos. **Horticultura brasileira**, v.26, n. 2, p. 171- 175, 2008.

GUNDUZ, K.; OZDEMIR, E. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars strawberry. **Food Chemistry**, n. 89 155, p. 298-303, 2014

GUTERRES, S. S. et al. Poly (DL-lactide) nanocapsules containing diclofenac: I. Formulation and stability study. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 113, n. 1, p. 57–63, 1995.

HAGENMAIER, R. D.; BAKER, R. A. Wax Microemulsions and Emulsions as Citrus Coatings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 4, p. 899–902, 1994.

HARDENBURG, R. E. Wax and related coatings for horticultural products: A bibliography. **Agricultural Research Service Bulletin**, n. 15 p. 51-55, 1967.

HOA T.T. et al. Effect of different coating treatments on the quality of mango fruit. **Journal of Food Quality**. v.25, p.471-486, 2002.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. v. 1, 3 ed. São Paulo: IMESP, 1985. 27 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola, 2014**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201104.pdf>. Acesso em: 10 de mar. de 2015.

ISAAC, V. L. B. et al. Protocolo para ensaios físico-químicos de estabilidade de fitocosméticos. **Revista de Ciências Farmacéuticas Básica e Aplicada**, v. 29, n. 1, p. 81–96, 2008.

JAFARI, S. M.; HE, Y.; BHANDARI, B. Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 478–488, 2007.

JAYASEKARA, R. et al. Preparation, surface modification and characterisation of solution cast starch PVA blended films. **Polymer Testing**, v. 23, n. 1, p. 17–27, 2004.

JERÔNIMO, E. M.; BRUNINI, M. A.; ARRUDA, M. C.; CRUZ, J. C. S.; GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A. Qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ armazenadas sob atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 237-243, 2007.

JO, W. et al. Quality and microbial safety of ‘Fuji’ apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 490-497, 2014.

JONES, J. B. Tomato plant culture – in the field, greenhouse, and home garden. New York: CRC Press, 1998. 199p.

KADER, A. A., MORRIS, L. L.,; CHEN, P. Evaluation of two objective methods and subjective rating scale for measuring tomato firmness. **Journal of American Society Horticultural Science**, v. 103, n.1, p. 70–73, 1978.

KAYS, S. J. **Postharvest Physiology of Perishable Plant Products**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1991. 532p.

KLUGE, R. A.; MINAMI, K. Efeito de esters de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara. **Scientia Agrícola**, v. 54, n. 1-2, p. 39-44, 1997.

KOURNIATIS, L. R. et al. Nanoemulsões óleo de laranja/água preparadas em homogeneizador de alta pressão. **Química nova**, v. 33, n. 2, p. 295–300, 2010.

LAOUINI, A.; FESSI, H.; CHARCOSSET, C. Membrane emulsification: A promising alternative for vitamin E encapsulation within nano-emulsion. **Journal of Membrane Science**, v. 423-424, p. 85–96, 2012.

LEMARCHAND, C., COUVREUR, P., VAUTHIER, C., COSTANTINI, D., GREF, R. Study of emulsion stabilization by graft copolymers using the optical analyzer Turbiscan. **International Journal of Pharmaceutics**. 254, 77-82, 2003.

LIANG, R. et al. Physical and antimicrobial properties of peppermint oil nanoemulsions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 30, p. 7548-7555, 2012.

LIN, D.; ZHAO, Y. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 6, n. 3, p. 60–75, 2007.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **J. Anim. Sci.**, Savoy, v.76, p.1216-31, 1998.

LIU, W. et al. Formation and stability of paraffin oil-in-water nano-emulsions prepared by the emulsion inversion point method. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 303, n. 2, p. 557–563, 2006.

LOPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Comparação dos índices de cor para maturação do tomate. **Hortic. Bras.**, v. 22, n. 3, p. 534-537, 2004.

MARIE, P.; PERRIER-CORNET, J. M.; GERVAIS, P. Influence of major parameters in emulsification mechanisms using a high-pressure jet. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 1, p. 43–51, 2002.

MARTIN-POLO, M.; MAUGUIN, C.; VOILLEY, A. Hydrophobic Films and Their Efficiency against Moisture Transfer.1. Influence of the Film Preparation Technique. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 407–412, 1992.

MASON, T. G. et al. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. **Journal of Physics: Condensed Matter**, v. 18, n. 41, p. R635–R666, 2006.

McCLEMENTS, D. J. Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. 2. Ed. CRC Press, Boca Raton, 2004. 632p.

McCLEMENTS, D. J. Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. **Soft Matter**, s/n, v. 7, p. 2297–2316, 2011.

- McCLEMENTS, D. J.; RAO, J. Food-Grade Nanoemulsions: Formulation, Fabrication, Properties, Performance, Biological Fate, and Potential Toxicity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 4, p 285-330, 2011.
- McDONALD, R. C.; McCOLLUM, T.G.; BALDWIN, E. A. Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.16, p. 147-155, 1999.
- MEJÍA-TORRES, S. et al. Effect of wax application on the quality, lycopene content and chilling injury of tomato fruit. **Journal of Food Quality**, v. 32, n. 6, p. 735-746, 2009.
- MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná: CEPPA, 1984. 101p.
- MOHANRAJ, V.J., CHEN, Y., Nanoparticles – A Review. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 5, p. 561-573, 2006.
- MORILLON, V. et al. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 42, n. 1, p. 67-89, 2002.
- MOTA, W. F. **Conservação pós-colheita do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flaricarpa* Deg.) influenciada por ceras e filme plástico**. 1999. 58 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- MOTTA, Valter T. **Bioquímica**. 2 ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2001. 488p. cap. 9, p.239
- MOURA, M. L.; SARGENT, S. A; OLIVEIRA. R. F. Efeito da atmosfera controlada na conservação de tomates colhidos em estágio intermediário de maturidade. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 1, p. 135-142, 1999.
- MOURA, M. R. et al. Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 448-453, 2009.
- OJEDA, R. M., **Utilização de Ceras, Fungicidas e Sanitizantes na Conservação de Goiabas ‘Pedro Sato’ sob Condição Ambiente**. 2001. 57p. Dissertação (Mestrado)- USP-ESALQ, Piracicaba, 2001.
- OLIVEIRA, M. E. B. et al. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.
- PARISI, M. C. M.; HENRIQUE, C. M.; PRATI, P. Perdas pós-colheita: um gargalo na produção de alimentos. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 1-5, 2012.
- PARK, HYUN J. et al. Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 3, p. 568-570, 1994.
- PEREIRA, M.C. et al. Efeitos do uso de mangas de compressão gradual no desempenho muscular de homens treinados. **Motricidade**, v. 9, n.4, pp. 33-39, 2013.

PRISTA, L. N.; ALVES, A. C.; MORGADO, R. In:____. **Técnicas farmacêuticas e Farmácia Galênica**, 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981, v. 1, p. 179-210 e 1125-81.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA - PBMH. **Normas de classificação do tomate**. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura - CQH/CEAGESP, 2003.

PRUSSIA, S.E. et al. **A systems approach for interdisciplinary postharvest research on horticulture crops**. Georgia: Experimental State Research Report, Athens, 1986. 514p.

QI, L.; WU, T.; WATADA, A. E. Quality changes of fresh-cuthoneydew melons during controlled atmosphere storage. **Journal of Food Quality**, v. 22, n. 5, p. 513-521, 1999.

REID, M. S. Biology of ethylene production & action. **Annual Review of Plant Physiol**, v. 35, p. 155-189, 1994.

RIBEIRO, H. M. Teorias de estabilidade de emulsões cosmética. **Cosmetics & Toiletries**, v. 14, n.4, p. 88-92, 2002.

ROSSAN, M. A. **Preparação e Caracterização de Micro e Nanopartículas Lipídicas Sólidas para Aplicação em Cosméticos**. 2011. 215 p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Química - UNICAMP, Campinas, 2011.

SALTVEIT, M. E. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: TOMÁSBARBERÁN, F. A. (Ed.). **Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. [s.l.]: Oxford University Press, 1997. p. 205-220.

SAS INSTITUTE. **SAS/IML Software: usange and reference**, version 6. Cary, 1989. 501 p.

STATSOFT, INC. **Statistica: data analysis software system**, version 10. Tulsa, 2011 Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>.

SCRAMIN, J. A. et al., A. Surface wetting and DMA characterization of zein/oleic acid based films. In: INTERNATIONAL MACROMOLECULAR COLLOQUIUM - IMC, 11.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES - ISNaPol, 6., 2007, Gramado, RS. Natural polymers and composites. **Resumos... [São Carlos: ABPol, 2007]**. não paginado. 1 CD-ROM. Paper 117.

SHARMA, G., BALA, R., **Digital Color Imaging Handbook**. CRC Press. 2002.

SHEWFELT, R. L.; THAI, C. N.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **Journal of Food Science**, v.53, p.1433-1437, 1988.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças, 2000. 168p.

SILVA, W. A. et al. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de filmes de diferentes fontes de amido. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n. 1, p. 154-163, 2007

- SILVA, E. C., SOARES, I. C. Tecnologia de emulsões. **Cosmetics & Toiletries** (ed. port.) v. 8, n.5, p.37-46, 1996
- SOLANS C, IZQUIERDO P, NOLLA J, AZEMAR N, GARCIA-CELMA MJ. Nano-emulsions. **Curr Opin Colloid**. v.10, p.102-110, 2005.
- SOLÈ, I. et al. Nano-emulsions preparation by low energy methods in an ionic surfactant system. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 288, n. 1, p. 138-143, 2006.
- SOLOMOS, T. Principles underlying modified atmosphere packaging. In: WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables**. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 183-225.
- TADROS, T. et al. Formation and stability of nano-emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 108, p. 303-318, 2004
- THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v.14, n.3, p.71-78, 2003.
- TIJSKENS, L. M. M.; EVELO, R. G. Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 4, n. 1, p. 85-98, 1994.
- USDA. **United States Standards for Grade of Fresh Tomatoes**. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1991. Disponível em: <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5050331>>. Acesso em: 14 de abril de 2015.
- VANDENBURG, L. E.; WILDER, E. A. The structural constituents of carnauba wax. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 47, n. 12, p. 514-518, 1970.
- VENKATRAMAN, S.S., JIE, P., MIN, F., FREDDY, B.Y., LEONG-HUAT, G., Micelle-like nanoparticles of PLA-PEG-PLA triblock copolymer as chemotherapeutic carrier. **Int. J. Pharm.** v. 298, p. 219-232, 2005.
- VIEITES, R. L.; NEVES, L. T. B. C.; SILVA, A. P. Utilização da embalagem de polietileno e de diferentes tipos de ceras, em condições ambiente e sob refrigeração, na conservação do tomate. In: **XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, 1, 1998, Rio de Janeiro. Anais: Alimento, População e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira Ciência e Tecnologia de Alimentos - Regional Rio de Janeiro, 1998. p. 399-402.
- VILAS BOAS, E. V. B. et al. Modificações textuais de tomates heterozigotos no loco *Alcobaça*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p.1447-1453, 2000.
- WANG, X.; et al. Nanomechanical characterization of micro/nanofiber reinforced type I collagens. **Journal of Biomedical Materials Research**, v. 83A, n. 1, p. 130-135, 2007.
- WILLS, R. B. H.; KU, V. V. V. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 26, n. 1, p. 85-90, 2002.

WILLS, R. B. H. et al. **Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**. 4 ed. Austrália: Cab International. 2004. 262p.

WOODS, J. L. Moisture loss from fruits and vegetables. **Postharvest News and Information**, v. 1, n. 3, p. 195-199, 1990.

WOOSTER, T. J.; GOLDING, M.; SANGUANSRI, P. Impact of oil type on nanoemulsion formation and Ostwald ripening stability. **Langmuir**, v. 24, n. 22, p. 12758-12765, 2008.

YAHIA, E.M., HAO, X.; PAPADOUPOULOS, A.P. Influence of crop management decisions on postharvest quality of greenhouse tomatoes. In: **Crops: Quality, Growth and Biotechnology**. Ramdane, D. (ed.), 2005.

YANG, C. C.; CHINNAN, M. S. Computer modeling of gas composition and color development of tomatoes stored in polymeric film. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 869-872, 1988.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en La composición y calidad de frutos de tomate. **Agronomia Tropical**, v.46, n. 1, p. 61- 72, 1996.