

CAROLLAYNE GONÇALVES MAGALHÃES

**TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DO OZÔNIO NO TRATAMENTO PÓS-
COLHEITA DE LÍCHIA, MORANGO E ACEROLA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni

Coorientadores:

Ernandes Rodrigues de Alencar

Marcus Vinícius de Assis Silva

Alessandra Aparecida Zinato Rodrigues

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M188t
2023
Magalhães, Carollayne Gonçalves, 1992-
Tecnologias de aplicação do ozônio no tratamento
pós-colheita de lichia, morango e acerola / Carollayne Gonçalves
Magalhães. – Viçosa, MG, 2023.
1 tese eletrônica (146 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Lêda Rita D'Antonino Faroni.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.044>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Frutas - Conservação. 2. Frutas - Qualidade. 3. Ozônio.
4. Morango. 5. Lichia. 6. Acerola. I. Faroni, Lêda Rita
D'Antonino, 1953-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 664.8


CAROLLAYNE GONÇALVES MAGALHÃES

TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DO OZÔNIO NO TRATAMENTO PÓS-COLHEITA DE LÍCHIA, MORANGO E ACEROLA


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de novembro de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **CAROLLAYNE GONCALVES MAGALHAES**
Data: 06/02/2024 15:35:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carollayne Gonçalves Magalhães
Autora

Documento assinado digitalmente
 **LEDA RITA DANTONINO FARONI**
Data: 07/02/2024 15:28:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lêda Rita D'Antonino Faroni
Orientadora



Fonte: Maurício de Sousa (2018). Disponível em: <www.santos.sp.gov.br>. Acesso em: 10/06/2023

A todos os pesquisadores que trabalham por melhorias na sociedade e compartilham saberes, permitindo que o conhecimento cumpra seu propósito. A todos que juntos otimizam as técnicas de produção e conservação de alimentos. DEDICO!

“Quanto mais alto estejas, mais apto a prestar.
De quanto mais disponhas, mais poder de servir.
Quem possui mais cultura, pode ensinar melhor.
Não recuses doar, do que tenhas ou sejas.
Virtude sem trabalho, lembra riqueza morta.
Recorda: Deus te dá, para que também dês.”

(Emmanuel)

“Na natureza ou no mundo moderno, resiliência é uma arte!”

(Carollayne Gonçalves Magalhães)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo fôlego de vida, por me conceder sabedoria e fortalecer nos momentos difíceis.

A minha família, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Ao Ariel, Belchior e Bia, pelo companheirismo, carinho e momentos de alegria.

Aos amigos de república, com quem convivi uma boa parte do Doutorado, Helvídio Valbuza, Wesley Abijaude, Vinícius Xavier, Renan Menicucci e Karen Canazart, pela amizade e momentos de descontração.

À Universidade Federal de Viçosa-UFV, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

A professora Dra. Lêda Rita D'Antonino Faroni, por aceitar me orientar no Doutorado.

Ao professor Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar, pelo suporte e ensinamentos.

Ao professor Dr. Marcus Vinícius de Assis Silva, pela ajuda na execução dos experimentos e parte escrita da tese.

A Dra. Alessandra Aparecida Zinato Rodrigues, pelo apoio e assistência ao longo dos trabalhos.

Ao professor Dr. Paulo Roberto Cecon, pela ajuda com a análise e interpretação de dados.

Ao professor MSc. Abelardo Barreto de Mendonça Neto, pelo apoio e incentivos.

Aos amigos e colegas do laboratório de pós-colheita, Célia Melo, Marcia Silva, Eugénio Siteo, Handina Langa, Jackson Silva, Carlos Oliveira, Daniel Castro, Patricia Rodrigues e Francisco Barbosa, pela convivência, auxílio, amizade e parceria.

Aos estagiários do laboratório de pós-colheita, Daniele Teixeira, Allyfe Martins e Emanuel Ferreira, pela ajuda nos experimentos.

Aos técnicos do laboratório de pós-colheita, Alley Michael e José Geraldo, pela assistência oferecida.

A empresa myozone, fabricante de geradores de ozônio e ao CEO e MSc. Vivaldo Mason Filho, pela concessão de equipamentos e suporte técnico durante as pesquisas.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO GERAL

MAGALHÃES, Carollayne Gonçalves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2023. **Tecnologias de aplicação do ozônio no tratamento pós-colheita de lichia, morango e acerola.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Coorientadores: Ernandes Rodrigues de Alencar, Marcus Vinícius de Assis Silva e Alessandra Aparecida Zinato Rodrigues.

Frutas como a lichia (*Litchi chinensis* Sonn.), o morango (*Fragaria ananassa* Duch.) e a acerola (*Malpighia emarginata* DC.), apresentam um curto tempo de prateleira, limitando sua disponibilidade no mercado. Nos últimos anos, o ozônio tem se destacado como uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento pós-colheita de vegetais com alta perecibilidade, pelo alto potencial oxidativo e a capacidade de se decompor em oxigênio após a aplicação, evitando a presença de subprodutos tóxicos nos vegetais e no meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo, analisar a eficiência de diferentes tecnologias de aplicação do ozônio no tratamento pós-colheita de lichia, morango e acerola. O trabalho foi separado em três capítulos: no primeiro analisou-se a qualidade pós-colheita de lichias tratadas com gás ozônio e névoa ozonizada; no segundo investigou-se o potencial da névoa ozonizada na desinfecção microbiológica e manutenção da qualidade físico-química de morangos e no terceiro, a eficiência da água ozonizada na assepsia e qualidade pós-colheita de acerolas. Como parâmetros de qualidade analisou-se nos três estudos, a perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, vitamina C e cor. Em acerolas, também avaliou-se os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante total. Em lichias, as análises físico-químicas aconteceram nos dias 0, 2, 4, 6, 7 e 8 e em morangos e acerolas, nos dias 0, 3, 6 e 9. As análises microbiológicas foram feitas nos estudos com morango e acerola, para quantificação de mesófilos aeróbios e fungos filamentosos. Em lichias, o ozônio gasoso foi mais eficiente que a névoa ozonizada para preservar a cor da casca, mas os efeitos foram semelhantes sobre características da polpa. Em morangos, a névoa ozonizada reduziu a incidência fúngica e bacteriana e em acerolas, a água ozonizada também foi eficiente nesse sentido, mas alterou a aparência externa das frutas. Neste trabalho, o ozônio se mostrou eficiente para preservar a qualidade das três frutas analisadas e para descontaminação microbiológica de morango e acerola.

Palavras-chave: Armazenamento de frutas. Sanitização com ozônio. Desinfecção bacteriana e fúngica. Qualidade físico-química.

GENERAL ABSTRACT

MAGALHÃES, Carollayne Gonçalves, D.Sc., Federal University of Viçosa, november 2023. Ozone application technologies in postharvest treatment of lychee, strawberry and acerola. Advisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Co-advisors: Ernandes Rodrigues de Alencar, Marcus Vinícius de Assis Silva e Alessandra Aparecida Zinato Rodrigues.

Fruits such as lychee (*Litchi chinensis* Sonn), strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.), and acerola (*Malpighia emarginata* DC.) have a limited shelf life, constraining their availability in the market. Ozone has emerged in recent years as an efficient and sustainable alternative for post-harvest treatment of highly perishable vegetables due to its potent oxidative capabilities and its ability to decompose into oxygen after application, thus avoiding the presence of toxic by-products in both plants and the environment. This study aimed to assess the efficiency of various ozone application technologies in the postharvest treatment of lychee, strawberry, and acerola. The investigation comprised three chapters: the first focused on the postharvest quality of lychees treated with ozone gas and ozonated mist; the second explored the potential of ozonized mist for microbiological disinfection and maintenance of the physicochemical quality of strawberries, while the third analyzed the efficiency of ozonized water in asepsis and postharvest quality of acerolas. Quality parameters, including loss of fresh mass, firmness, total soluble solids, pH, total titratable acidity, vitamin C, and color, were assessed in all three studies. For acerolas, total phenolic compounds and total antioxidant activity were also evaluated. Physicochemical analyses for lychees occurred on days 0, 2, 4, 6, 7, and 8, while for strawberries and acerolas, assessments were made on days 0, 3, 6, and 9. Microbiological analyses were conducted for studies involving strawberries and acerolas, quantifying aerobic mesophiles and filamentous fungi. Ozone gas proved more effective than ozonated mist in preserving the skin color of lychees, although both treatments had similar effects on pulp characteristics. In strawberries, ozonated mist reduced fungal and bacterial incidence, and in acerolas, ozonated water was similarly effective, albeit with alterations to the external appearance of the fruits. This study demonstrates ozone's efficacy in preserving the quality of the three fruits studied and in microbiological decontamination of strawberries and acerolas.

Keywords: Fruit storage. Ozone sanitization. Bacterial and fungal disinfection. Physicochemical quality.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIAS.....	13
Capítulo 1: Qualidade pós-colheita de lichias tratadas com gás ozônio e névoa ozonizada.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 Obtenção das frutas e caracterização inicial.....	22
2.2 Condições de tratamento com ozônio.....	22
2.3 Armazenamento das lichias após a ozonização.....	24
2.4 Análises de qualidade.....	24
2.4.1 Perda de massa fresca (%).....	24
2.4.2 Firmeza (Newton).....	25
2.4.3 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	25
2.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH).....	25
2.4.5 Acidez total titulável (ácido cítrico).....	25
2.4.6 Vitamina C (ácido ascórbico).....	26
2.4.7 Cor da casca e polpa.....	26
2.5 Análise estatística.....	27
3. RESULTADOS.....	28
3.1 Perda de massa fresca e firmeza.....	28
3.2 Sólidos solúveis, pH, acidez total titulável e vitamina C.....	32
3.3 Cor da casca e polpa.....	38
4. DISCUSSÃO.....	45
5. CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
Capítulo 2: Potencial da névoa ozonizada na desinfecção e manutenção da qualidade físico-química de morangos.....	57
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1 Obtenção dos frutos e caracterização inicial.....	62
2.2 Condições de tratamento com ozônio.....	62
2.3 Armazenamento dos morangos após a ozonização.....	65
2.4 Análise microbiológica.....	65
2.5 Análises de qualidade.....	66
2.5.1 Perda de massa fresca (%).....	66
2.5.2 Firmeza (Newton).....	67
2.5.3 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	67
2.5.4 Potencial hidrogeniônico (pH).....	67
2.5.5 Acidez total titulável (ácido cítrico).....	67
2.5.6 Vitamina C (ácido ascórbico).....	68
2.5.7 Cor da polpa.....	68
2.6 Análise estatística.....	69

3. RESULTADOS.....	70
3.1 Aparência externa dos morangos ao longo do armazenamento.....	70
3.2 Desinfecção dos morangos.....	71
3.3 Qualidade pós-colheita.....	72
3.3.1 Perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, vitamina C, diferença de cor, tonalidade de cor e saturação de cor.....	72
4. DISCUSSÃO.....	80
5. CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS.....	87
Capítulo 3: Eficiência da água ozonizada em sistema de microbolhas na sanitização e qualidade pós-colheita de acerolas.....	95
1. INTRODUÇÃO.....	97
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	100
2.1 Obtenção das frutas e caracterização inicial.....	100
2.2 Condições de tratamento com ozônio.....	100
2.3 Armazenamento das acerolas após a ozonização.....	102
2.4 Análise microbiológica.....	103
2.5 Análises de qualidade.....	103
2.5.1 Perda de massa fresca (%).....	104
2.5.2 Firmeza (Newton).....	104
2.5.3 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	104
2.5.4 Potencial hidrogeniônico (pH).....	105
2.5.5 Acidez total titulável (ácido cítrico).....	105
2.5.6 Vitamina C (ácido ascórbico).....	105
2.5.7 Cor da polpa.....	106
2.5.8 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total.....	107
2.5.8.1 Preparo dos extratos de acerola.....	107
2.5.8.2 Compostos fenólicos totais (ácido gálico).....	107
2.5.8.3 Atividade antioxidante total pelo método ABTS.....	108
2.5.8.4 Atividade antioxidante total pelo método DPPH.....	109
2.6 Análise estatística.....	109
3. RESULTADOS.....	110
3.1 Desinfecção das acerolas.....	110
3.2 Qualidade pós-colheita	111
3.2.1 Perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C.....	111
3.2.2 Cor da polpa, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total (ABTS e DPPH).....	116
3.2.3 Aparência externa das acerolas ao longo do armazenamento.....	121
4. DISCUSSÃO.....	122
5. CONCLUSÕES.....	132
REFERÊNCIAS.....	133
CONCLUSÃO GERAL.....	146

INTRODUÇÃO GERAL

O consumo de vegetais na forma *in natura* corresponde a uma grande parcela da dieta humana, pelo fornecimento de energia e nutrientes como carboidratos, fibras, proteínas, vitaminas e minerais (MILLER et al., 2013; YOUSUF et al., 2020). Frutas como a lichia (*Litchi chinensis* Sonn.), o morango (*Fragaria ananassa* Duch.) e a acerola (*Malpighia emarginata* DC.) são ricas em compostos bioativos benéficos para a saúde, como antioxidantes, fenóis e flavonoides, que auxiliam no tratamento e prevenção de muitas doenças (LOZOWICKA et al., 2016; PRAKASH; BASKARAN, 2018; WANG et al., 2020). Uma boa parte das frutas produzidas é destinada às indústrias para a produção de alimentos, cosméticos e medicamentos (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; ZHOU et al., 2018; WANG et al., 2020; VINHA et al., 2022).

No entanto, apresentam um curto tempo de prateleira, limitando sua disponibilidade no mercado. A fragilidade da parte externa, intensifica o escurecimento da casca em lichia e aumenta a susceptibilidade de danos mecânicos e contaminações em morango e acerola, resultando em perdas econômicas significativas na fase de pós-colheita (MAZARO et al., 2015; LOZOWICKA et al., 2016; PANDIT; SHUKLA, 2018). As perdas na fase de pós-colheita dessas frutas podem ser próximas ou superiores a 40% (SOUZA, K. O. et al., 2017; CAJAMARCA et al., 2018; REZENDE et al., 2018; GUPTA; PRAKASH, 2019; TURQUETT et al., 2021).

A eficácia de sanitizantes químicos na preservação e descontaminação de frutas de uma forma geral, tem sido explorado nas últimas décadas, destacando-se o uso de sanitizantes como o dióxido de cloro (ClO_2), dióxido de enxofre (SO_2), ácido hipocloroso (HOCl) e ácido clorídrico (HCl) (BRIDGES et al., 2018; KASLER; YOUSEF, 2018; PANDIT; SHUKLA, 2018). Entretanto, o uso desses sanitizantes pode ocasionar problemas de saúde aos trabalhadores e aos consumidores (PASCUAL et al., 2007). Alternativamente, o ozônio (O_3) vem se mostrando eficiente para substituição dos sanitizantes convencionais, por características como o alto potencial oxidativo e a capacidade de se decompor em oxigênio após a aplicação, evitando a presença de subprodutos tóxicos nos vegetais e no meio ambiente (KASLER; YOUSEF, 2018; PANDIT; SHUKLA, 2018; ASLAM et al., 2019).

O ozônio (O_3) é um oxigênio triatômico (forma alotrópica do oxigênio) e oxidante químico com potencial de esterilização, saneamento e fumigação, identificado e nomeado pela primeira vez por Schoenbein em 1840 (KASLER; YOUSEF, 2018; SOUZA et al., 2018;

VLASSI et al., 2018). A utilização de ozônio como sanitizante de alimentos foi reconhecida em 1997, pelo Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica, considerado um método seguro quando utilizado de acordo com as Boas Práticas de Fabricação. A utilização como aditivo alimentar direto para tratamento, armazenamento e processamento foi reconhecida em 2001 pela *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos (BOTONDI et al., 2016; VLASSI et al., 2018).

O ozônio se apresenta como um gás azul pálido quando gerado a partir de ar seco e incolor a partir de oxigênio de alta pureza. Apresenta cheiro pungente característico, facilmente detectável por humanos em concentrações de 0,01 a 0,04 mg L⁻¹. Apresenta menor estabilidade do que o oxigênio diatômico, formado a partir do rearranjo dos átomos de oxigênio e gerado por descargas elétricas ou incidência de radiação eletromagnética de alta energia no ar (FELIZIANI et al., 2016; SOUZA, L. P. et al., 2017; ASLAM et al., 2019; LONE et al., 2019).

A aplicação de ozônio em frutas é feita para inativação de patógenos, para atrasar ou prevenir a deterioração nas fases de distribuição e armazenamento e para diminuir os resíduos de pesticidas (KASLER; YOUSEF, 2018; PANDIT; SHUKLA, 2018; ASLAM et al., 2019). Pode ser utilizado na forma gasosa e aquosa em qualquer etapa da cadeia produtiva, desde o pomar até supermercados locais, aumentando o tempo de prateleira dos alimentos (KASLER; YOUSEF, 2018).

O tratamento com ozônio na forma gasosa geralmente possui maior eficiência, por apresentar estabilidade superior e um tempo de meia-vida mais longo em comparação com o ozônio aquoso (MILLER et al., 2013; ASLAM et al., 2019). A eficiência do ozônio no tratamento de frutas também depende de características como a morfologia e composição, estágio de maturação, natureza do produto (inteiro ou cortado), microrganismo alvo, tecnologia utilizada na produção de ozônio, método de aplicação, concentração e pressão adotada, tempo de aplicação e temperatura de tratamento (KASLER; YOUSEF, 2018).

O maior desafio está em conseguir estabelecer concentrações e tempos de exposição adequados, que não provoquem estresse oxidativo ao vegetal por espécies reativas de oxigênio, produzidas durante o tratamento (PIECHOWIAK et al., 2020; PIECHOWIAK et al., 2021). No processo de ozonização, o ozônio se decompõe em radicais livres como a hidroxila (OH⁻), a hidroperoxila (HO₂) e o superóxido (O₂⁻), que em excesso são tóxicos para o produto e degradam os pigmentos de cor presentes na casca, como as antocianinas e os carotenoides, resultando na descoloração da superfície externa, redução de compostos

bioativos e perda da capacidade antioxidante (TIWARI et al., 2009; PIECHOWIAK et al., 2020).

Estudos demonstram a eficiência do ozônio na desinfecção microbiológica de banana (ALENCAR et al., 2013), citros (GARCÍA-MARTIN et al., 2018), kiwi (LONE et al., 2019), maçã (SHENG et al., 2018), mamão (ONG et al., 2013; COSTA et al., 2020), melão (HUA-LI et al., 2018), uvas (PINTO et al., 2017; VLASSI et al., 2018) e frutas vermelhas (BIALKA et al., 2008; ALEXANDRE et al., 2011; CONTIGIANI et al., 2018; ZHOU et al., 2018; ALVES et al., 2019; JARAMILLO-SÁNCHEZ et al., 2019; CONTIGIANI et al., 2020; MARYAM et al., 2020). Esses estudos também relatam de forma geral, efeitos positivos da ozonização na preservação das características físico-químicas como massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, vitamina C e coloração.

O uso de ozônio na pós-colheita de lichia ainda é pouco difundido. A literatura traz apenas dois estudos sobre os efeitos desse sanitizante no tratamento de lichias (WHANGCHAI et al., 2011; PANDIT; SHUKLA, 2018). Para a acerola, o potencial do ozônio ainda não foi explorado. Em morangos, diferentes estudos foram realizados nos últimos anos com ozônio gasoso e água ozonizada, focados na descontaminação microbiológica e aumento do tempo de prateleira (NADAS et al., 2003; BIALKA et al., 2008; PONCE et al., 2010; ALEXANDRE et al., 2011; ADAY et al., 2014; CHILOSI et al., 2015; FERREIRA et al., 2017; CONTIGIANI et al., 2018; ZHOU et al., 2018; ALVES et al., 2019; BASTOS et al., 2019; CONTIGIANI et al., 2020; MARYAM et al., 2020), despertando o interesse por novas estratégias de ozonização, dentre elas a névoa ozonizada.

Considerando-se que o uso de ozônio no tratamento de frutas como lichia e acerola ainda é pouco difundido e a necessidade da implementação de novas tecnologias para a ozonização de morango, os objetivos deste trabalho foram: i) analisar a qualidade pós-colheita de lichias tratadas com gás ozônio e névoa ozonizada; ii) investigar o potencial da névoa ozonizada na desinfecção microbiológica e manutenção da qualidade físico-química de morangos e iii) determinar a eficiência da água ozonizada na assepsia e qualidade pós-colheita de acerolas.

REFERÊNCIAS

- ADAY, M. S.; BÜYÜKCAN, M. B.; TEMIZKAN, R.; CANER, C. Role of Ozone Concentrations and Exposure Times in Extending Shelf Life of Strawberry. **Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association**, v. 36, n. 1, p. 43-56, 2014. <http://doi.org/10.1080/01919512.2013.833851>
- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; PINTO, M. S.; COSTA, A. R.; SILVA, T. A. Postharvest quality of ozonized “nanição” cv. Bananas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 107-114, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100014>
- ALEXANDRE, E. M. C.; SANTOS-PEDRO, D. M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 2, p. 277-282, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.032>
- ALVES, H.; ALENCAR, E. R.; FERREIRA, W. F. S.; SILVA, C. R.; RIBEIRO, J. L. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de morango exposto ao gás ozônio em diferentes concentrações durante o armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p.1-12, e2018002, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.00218>
- ASLAM, R.; ALAM, M. S.; SAEED, P. A. Sanitization potential of ozone and its role in postharvest quality management of fruits and vegetables. **Food Engineering Reviews**, v. 12, p. 48-67, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09204-0>
- BASTOS, R. G.; OLIVER, J. C.; GERMANO, J. L.; FERNANDES, G. R.; VEIGA, S. M. O. M. Effectiveness evaluation of alternative sanitizers in microbiological quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch Var. Oso Grande) after artificial contamination by *Escherichia coli*. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 470-474, 2019. <https://doi.org/10.1590/fst.21118>
- BIALKA, K. L.; DERMICI, A.; PURI, V. M. Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed UV-light. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 3, p. 444-449, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.007>
- BOTONDI, R.; MOSCETTI, R.; MASSANTINI, R. A comparative study on the effectiveness of ozonated water and peracetic acid in the storability of packaged fresh-cut melon. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 2352-2360, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2207-y>
- BRIDGES, D. F.; RANE, B.; WU, V. C. H. The effectiveness of closed-circulation gaseous chlorine dioxide or ozone treatment against bacterial pathogens on produce. **Food Control**, v. 91, p. 261-267, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.004>
- CAJAMARCA, S. M. N.; ALENCAR, E. R.; SANTANA, A. P.; LEÃO, T. P.; FERREIRA, W. F. S. Efeito do ozônio na qualidade pós-colheita de morangos produzidos em sistema orgânico. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, n. 2, p. 1-12, 2018. <http://doi.org/10.5380/bceppa.v35i2.60569>

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; PRETE, C. E. C. GONZALEZ, M. G. N.; POPPER, I. O. Novas cultivares de acerola (*Malpighia emarginata* DC.): UEL 3-Dominga, UEL 4-Lígia e UEL 5-Natália. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 124-126, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100027>

CHILOSI, G.; TAGLIAVENTO, V.; SIMONELLI, R. Application of Ozone Gas at Low Doses in the Cold Storage of Fruit and Vegetables. **Acta Horticulturae**, v. 1071, p. 681-686, 2015. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1071.90>

CONTIGIANI, E. V.; JARAMILLO-SÁNCHEZ, G.; CASTRO, M. A.; GÓMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Postharvest Quality of Strawberry Fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1639-1650, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2127-0>

CONTIGIANI, E. V.; KRONBERG, M. F.; SÁNCHEZ, G. J.; GÓMEZ, P. L.; GÁRCIA-LOREDO, A. B.; MUNARRIZ, E.; ALZAMORA, S. M. Ozone washing decreases strawberry susceptibility to *Botrytis cinerea* while maintaining antioxidant, optical and sensory quality. **Heliyon**, v. 6, n. 11, p. 1-9, e05416, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05416>

COSTA, A. R.; FARONI, L. R. A.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; ALENCAR, E. R. Use of ozonized water to control Anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.) and its effect on the quality of the fruits. **Ozone: Science & Engineering**, v. 43, n. 4, p. 384-393, 2020. <https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1816450>

FELIZIANI, E.; LICHTER, A.; SMILANICK, J. L.; IPPOLITO, A. Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 53-69, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.016>

FERREIRA, W. F. S.; ALENCAR, E. R.; ALVES, H.; RIBEIRO, J. L.; SILVA, C. R. Influence of pH on the efficacy of ozonated water to control microorganisms and its effect on the quality of stored strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 692-700, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416013317>

GARCÍA-MARTÍN, J. F.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of diferente citrus varieties at laboratory and at industrial facility. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 77-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.015>

GUPTA, C.; PRAKASH, D. Part 10. Safety of Fresh Fruits and Vegetables. p. 249-283. In: SINGH, R. L.; MONDAL, S. (Editores). **Food Safety and Human Helth**. 2019. 402 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00010-2>

HUA-LI, X.; YANG, B.; RAZAC, H.; HU-JUN, W.; LU-MEI, P.; MI-NA, N.; XIAO-YAN, C.; YI, W.; YONG-CAI, L. Detection of NEO in muskmelon fruits inoculated with *Fusarium sulphureum* and its control by postharvest ozone treatment. **Food Chemistry**, v. 254, p. 193-200, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.149>

JARAMILLO-SÁNCHEZ, G. M.; CONTIGIANI, E. V.; CASTRO, M. A.; HODARA, K.; ALZAMORA, S. M.; LOREDO, A. G.; NIETO, A. B. Freshness maintenance of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during postharvest using ozone in aqueous phase: microbiological, structure, and mechanical issues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 2136-2147, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02358-z>

KASLER, D. R.; YOUSEF, A. E. Part 18. Ozone Antimicrobial Effects on Fruits and Fruit Juices. p. 505-522. In: ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; WELTI-CHANES, J.; BARBOSACÁNOVAS, G. V. (Editores). **Fruit Preservation**. 2018. 532 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3311-2_18

LONE, S. A.; RAGHUNATHAN, S.; DAVOODBASHA, M.; SRINIVASAN, H.; LEE, S. An investigation on the sterilization of berry fruit using ozone: An option to preservation and longterm storage. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101212>

LOZOWICKA, B.; JANKOWSKA, M.; HRYNKO, I.; KACZYNSKI, P. Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning and boiling. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 188, n. 1, p. 1-19, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4850-6>

MARYAM, A.; ANWAR, R.; MALIK, A. U.; RAHEEM, M. I. U.; KHAN, A. S.; HASAN, M. U.; HUSSAIN, Z.; SIDDIQUE, Z. Combined aqueous ozone and ultrasound application inhibits microbial spoilage, reduces pesticide residues and maintains storage quality of strawberry fruits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 1437-1451, 2020 <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00735-3>

MAZARO, S. M.; BORSATTI, F. C.; DALACOSTA, N. L.; LEWANDOWSKI, A.; DANNER, M. A.; BUSO, C.; WAGNER-JUNIOR, A. Qualidade pós-colheita de acerolas tratadas com ácido salicílico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 512-517, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i4a5190>

MILLER, F. A.; SILVA, C. L. M.; BRANDÃO, T. R. S. A Review on Ozone-Based Treatments for Fruit and Vegetables Preservation. **Food Engineering Reviews**, v. 5, p. 77-106, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12393-013-9064-5>

NADAS, A.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Growth of *Botrytis cinerea* and Strawberry Quality in Ozone-enriched Atmospheres. **JFS-Food Microbiology and Safety**, v. 68, n. 5, p. 1798-1802, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12332.x>

ONG, M.K.; KAZI, F. K.; FORNEY, C. F.; ALI, A. Effect of Gaseous Ozone on Papaya Anthracnose. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p. 2996-3005, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1013-4>

PANDIT, P. S.; SHUKLA, S. P. Effect of ozonized reverse osmosis plant water washing on microbial load of lychee. **Acta Horticulturae**, v.1211, p. 23-28, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1211.4>

PASCUAL, A.; LLORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. S29-S35, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.10.006>

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers. **Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3309-5>

PIECHOWIAK, T.; SKÓRA, B.; BALAWEJDER, M. Ozone treatment induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1240-1245, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02450-9>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; BALAWEJDER, M. Effect of ozonation process on the energy metabolism in raspberry fruit during storage at room temperature. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 483-491, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02591-5>

PINTO, L.; CAPUTO, L.; QUINTIERI, L.; CANDIA, S.; BARUZZI, F. Efficacy of gaseous ozone to counteract postharvest table grape sour rot. **Food Microbiology**, v. 66, p. 190-198, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.05.001>

PONCE, A. R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010005000016>

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-29, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>

SHENG, L.; HANRAHAN, I.; SUN, X.; TAYLOR, M. H.; MENDOZA, M.; ZHU, M.-J. Survival of *Listeria innocua* on Fuji apples under commercial cold storage with or without low dose continuous ozone gaseous. **Food Microbiology**, v. 76, p. 21-28, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.04.006>

SOUZA, K. O.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; RABELO, M. C.; MIRANDA, M. R. A. Quality of acerola (*Malpighia emarginata*) treated with gibberelic acid and stored under refrigeration. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, p. 1-9, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017574>

SOUZA, L. P.; FARONI, L. R. A.; HELENO, F. F.; PINTO, F. G.; QUEIROZ, M. E. L. R.; PRATES, L. H. F. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 243, p. 435-441, 2017.

SOUZA, L. P.; FARONI, L. R. A.; HELENO, F. F.; CECON, P. R.; GONÇALVES, T. D. C.; SILVA, G. J. S.; PRATES, L. H. F. Effects of ozone treatment on postharvest carrot quality. **LWT-Food Science and Technology**, v. 90, p. 53-60, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.057>

TIWARI, B. K.; O'DORNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1119-1126, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

TURQUETT, L. C. G. B.; BASTOS, R. A.; LIMA, J. P.; VALENTE, G. F. S. Avaliação da cobertura comestível elaborada a partir de quitosana, farelo de arroz e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de morangos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 33153-33171, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-845>

VINHA, A. F.; FERCHAL, C.; SOUSA, C. Cascas de frutas exóticas (*Litchi chinensis* e *Nephelium lappaceum*) valorização e sustentabilidade. **Egitania Scientia**, v. 31, p. 55-73, 2022. <https://doi.org/10.46691/es.v2i31.19>

VLASSI, E.; VLACHOS, P.; KORAROS, M. Effect of ozonation on table grapes preservation in cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, p. 2031-2038, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3117-y>

WANG, Z.; WU, G.; SHU, B.; HUANG, F.; DONG, L.; ZHANG, R.; SU, D. Comparison of the phenolic profiles and physicochemical properties of different varieties of thermally processed canned lychee pulp. **RSC Advances**, v. 10, p. 6743-6751, 2020. <https://doi.org/10.1039/C9RA08393F>

YOUSUF, B.; DESHI, V.; OZTURK, B.; SIDDIQUI, M. W. Part 1. Fresh-cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. p.1-15. In: SIDDIQUI, M. W. (Editor). **Freshcut fruits and vegetables, technologies and Mechanisms for Safety Control**. 2020. 396 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00001-X>

ZHOU, Z.; ZUBER, S.; CANTERGIANI, F.; SAMPERS, I.; DEVLIEGHIERE, F.; UYTENDAELE, M. Inactivation of foodborne pathogens and their surrogates on fresh and frozen strawberries using gaseous ozone. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, n. 51, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00051>

WHANGCHAI, K.; UTHAIBUTRA, J.; PHIYANALINMAT, S.; PENGPHOL, S.; NOMURA, N. Effect of ozone treatment on the reduction of Chlorpyrifos residues in fresh lychee fruits. **Ozone: Science & Engineering**, v. 33, n. 3, p. 231-235, 2011. <https://doi.org/10.1080/01919512.2011.554313>

Capítulo 1: Qualidade pós-colheita de lichias tratadas com gás ozônio e névoa ozonizada

Resumo: Este trabalho teve como objetivo, investigar os efeitos do ozônio gasoso e da névoa ozonizada na qualidade pós-colheita das frutas de lichias. Foram realizados dois ensaios experimentais, constituídos por sete tratamentos em cada, um com ozônio gasoso e outro com névoa ozonizada. Os experimentos foram conduzidos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os tempos de armazenamento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. No experimento com ozônio gasoso adotaram-se duas concentrações de ozônio (10 e 20 mg L⁻¹) e tempos de exposição de 15, 30 e 45 min. No experimento com névoa ozonizada analisou-se uma concentração fixa de ozônio (20 mg L⁻¹) em tempos de exposição de 3, 5 e 7 min. Também foram avaliados três tempos de exposição a névoa pura (isenta de ozônio) por 3, 5 e 7 min. Em ambos os ensaios foi analisado um tratamento controle, que correspondeu a frutas não tratadas. As análises dos parâmetros de qualidade das frutas foram feitas imediatamente após o tratamento (dia 0) e depois de 2, 4, 6, 7 e 8 dias de armazenamento. O armazenamento das frutas foi feito em sala climatizada, a temperatura de 17 °C e umidade relativa de 56%. Analisou-se o percentual de perda de massa, firmeza, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C e coloração da casca e polpa. O ozônio gasoso e a névoa ozonizada não alteraram a percentagem de perda de massa fresca, o teor de sólidos solúveis totais, teor de vitamina C, pH, acidez total titulável e cor da polpa. O ozônio gasoso foi mais eficiente que a névoa ozonizada na preservação da cor da casca, especialmente na concentração de 10 mg L⁻¹. Os efeitos do ozônio gasoso e da névoa ozonizada sobre as características da polpa foram semelhantes.

Palavras-chave: Sapindaceae; *Litchi chinensis* Sonn; Fruta exótica; Sanitização.

Abstract: This study aimed to investigate the effects of ozone gas and ozonated mist on the postharvest quality of lycheefruit. Two trials were carried out: one with ozone gas and another with ozonated mist, each consisting of seven treatments. The experiment followed a split-plot design, in which the plots represented the treatments, and the subplots corresponded to the storage times. The study used a completely randomized design (CRI) with three replications. In the first experiment, two concentrations of ozone gas were tested (10 or 20 mg L⁻¹) for exposure times of 15, 30, and 45 min. In the second experiment, an ozone concentration was set (20 mg L⁻¹) for exposure times of 3, 5, and 7 min and exposure to ozone-free mist for times of 3, 5 and 7 min. The trials presented one control, which corresponded to untreated fruits. Lychee had their quality parameters assessed immediately after the treatment (day 0) and on days 2, 4, 6, 7, and 8 of storage. The fruit was stored in a climatized room at 17 °C and 56 % relative humidity. The percentage of mass loss, firmness, soluble solids content, pH, total titratable acidity, vitamin C, and color of the skin and pulp were analyzed. Neither ozone gas nor ozonated mist caused alterations in the percentage of fresh-mass loss, total soluble solids content, vitamin C content, pH, total titratable acidity, and pulp color. Ozone gas proved more effective than ozonated mist in preserving skin color, especially at 10 mg L⁻¹. The effects of ozone gas and ozonated mist on the pulp characteristics were similar.

Keywords: Sapindaceae; *Litchi chinensis* Sonn; Exotic fruit; Ozone sanitization.

1. INTRODUÇÃO

A lichia (*Litchi chinensis* Sonn.) é uma espécie exótica de alto valor agregado pertencente à família Sapindaceae, nativa do sudeste da Ásia, China, Índia e África do Sul (PANDIT; SHUKLA, 2018; RASHID et al., 2019). As frutas são classificadas como não climatéricas (PAIXÃO et al., 2022). O consumo geralmente é feito na forma fresca. A polpa também pode ser destinada ao processamento para produção de sucos, vinhos, doces, sorvetes e geléias (QUEIROZ et al., 2015; RASHID et al., 2019).

A espécie vem se tornando popular em todo mundo, em função de suas propriedades alimentares, medicinais e cosméticas (VINHA et al., 2022). No entanto, frutas como a lichia possuem curta disponibilidade no mercado e pouco tempo de prateleira, com vida útil de aproximadamente 72 horas em temperatura ambiente (PANDIT; SHUKLA, 2018). O escurecimento do pericarpo, deteriorações e infecções provocadas por microrganismos, resultam em grandes prejuízos na fase de pós-colheita (PANDIT; SHUKLA, 2018; GUPTA; PRAKASH, 2019; HUANG et al., 2022). As perdas estimadas nessa fase, variam de 20 a 30%, podendo chegar a 50% (GUPTA; PRAKASH, 2019).

A rápida decomposição causada por microrganismos patogênicos e deteriorantes e ação de enzimas pectolíticas conferem sabor e cheiro desagradáveis às frutas (PANDIT; SHUKLA, 2018; GUPTA; PRAKASH, 2019). Após a colheita, atividades metabólicas como respiração e transpiração, também geram acúmulo de substratos como açúcares, ácidos orgânicos e perda de água acompanhada por senescência (GUPTA; PRAKASH, 2019). A qualidade inadequada torna o produto impróprio para consumo, resultando na rejeição por parte dos consumidores, riscos à segurança alimentar, exclusão de acesso ao mercado e perdas econômicas (PINTO et al., 2017; GUPTA; PRAKASH, 2019). A ferrugem da lichia (*Peronophythora litchii*) e a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), são as doenças mais frequentes na fase de pós-colheita (ANDERSON et al., 2013; XI et al., 2024).

Dentre os métodos para sanitização comumente utilizados para descontaminação e conservação de Sapindáceas, destacam-se a fumigação ou imersão em solução de dióxido de cloro (ClO₂) e a fumigação com dióxido de enxofre (SO₂) seguida ou não, pela imersão em ácido clorídrico (HCl) (WU et al., 2011; CHUMYAM et al., 2017; JORADOL et al., 2019; INTARASIT et al., 2022). Contudo, apesar da eficácia, a presença do dióxido de cloro ou enxofre pode alterar o sabor das frutas e gerar resíduos indesejáveis com potencial mutagênico e cancerígeno aos consumidores, dificultando a exportação para outros países

(PASCUAL et al., 2007; SIVAKUMAR et al., 2008; SIVAKUMAR et al., 2010). Além disso, podem provocar riscos aos trabalhadores durante a aplicação, ocasionando ou intensificando doenças respiratórias e cardiovasculares (VIEIRA et al., 2008).

É nesse sentido que o ozônio (O₃) representa uma alternativa mais segura e sustentável para substituição de produtos convencionais no tratamento de Sapindáceas destinadas à exportação ou ao consumo interno. Além de possuir maior potencial oxidativo e eficiência em relação ao dióxido de cloro (ClO₂) e dióxido de enxofre (SO₂), o ozônio também é classificado como *GRAS (Generally Recognized as Safe)* pelo *United States Department of Agriculture (USDA)* por não deixar resíduos no produto, tendo em vista que, o subproduto de sua decomposição é o oxigênio (DUBEY et al., 2022; PANDISELVAM et al., 2022; ZHANG et al., 2022). Todavia, sua aplicação ainda é pouco frequente em frutas de lichia e os relatos científicos são escassos. Os dois estudos existentes são voltados para o uso de ozônio gasoso e aquoso (imersão em água ozonizada) (WHANGCHAI et al., 2011; PANDIT; SHUKLA, 2018). Tais pesquisas sugerem uma maior eficiência do ozônio gasoso em relação ao ozônio em água, para preservação da qualidade pós-colheita de lichias.

Recentemente, a névoa ozonizada vem sendo investigada como uma estratégia para descontaminação de ambientes, principalmente após a pandemia de Covid-19 (SCHROER et al., 2023). A névoa ozonizada é caracterizada como uma variação da água ozonizada proveniente da reação química entre ozônio e água, produzida por um umidificador ultrassônico integrado a um gerador de ozônio e aplicada na forma de gotículas (MYOZONE, 2023; EBIHARA et al., 2016). Esta estratégia de aplicação, também apresenta grande potencial para uso agrícola. Trabalhos voltados para o controle de pulgões em cultivos orgânicos demonstram que a névoa ozonizada nas concentrações de 86 mg L⁻¹ (EBIHARA et al., 2013) e 70 mg L⁻¹ (EBIHARA et al., 2016), pode ser um método promissor na eliminação de insetos-praga e proteção de plantas contra doenças patogênicas. Esses indicativos demonstram, que essa estratégia de aplicação também poderia se estender ao tratamento de frutas e hortaliças durante a pós-colheita.

Até o momento, não existem estudos científicos sobre aplicação de névoa ozonizada na pós-colheita de frutas ou hortaliças. Considerando-se de uma forma geral, que os efeitos do ozônio sobre a qualidade pós-colheita dessa fruta ainda são pouco explorados, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos da aplicação de ozônio gasoso e névoa ozonizada na qualidade físico-química de frutas de lichia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção das frutas e caracterização inicial

As lichias foram adquiridas de um produtor familiar da região de Viçosa-MG, Brasil e transferidas no mesmo dia para o laboratório de pós-colheita (DEA-UFV), em caixas de papelão e protegidas do sol. Foram utilizadas lichias cultivar 'Bengal', isentas de tratamento pós-colheita anterior. As frutas apresentavam estágio de maturação pleno (casca vermelho uniforme) (PAREEK et al., 2016). As lichias utilizadas nos experimentos foram selecionadas conforme a ausência de defeitos, uniformidade do tamanho e coloração externa, optando-se por frutas de cor vermelho intenso, em pleno estágio de maturação.

Ao chegarem no local, as frutas foram caracterizadas quanto a qualidade físico-química, apresentando valores médios iniciais de 7,83 N para a firmeza, 18,69 °Brix para o teor de sólidos solúveis totais, 4,50 para o pH, 0,46 % de ácido cítrico para a acidez total titulável, 8,22 mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa para a vitamina C, 31,28 h* e 14,69 C*, para tonalidade e saturação da casca e 123,64 h* e 2,55 C*, para tonalidade e saturação da polpa.

2.2 Condições de tratamento com ozônio

Os experimentos foram conduzidos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (ozônio gasoso, névoa ozonizada, névoa pura e controle) e nas subparcelas os tempos de armazenamento (0, 2, 4, 6, 7 e 8 dias), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Cada ensaio experimental foi composto por sete tratamentos. Em ambos os ensaios, foi analisado um tratamento controle (T1), que correspondeu a frutas não tratadas. Experimento 1: No experimento com ozônio gasoso adotaram-se duas concentrações de ozônio e três tempos de exposição: 10 mg L⁻¹ de O₃ por 15, 30 e 45 min (T2, T3 e T4) e 20 mg L⁻¹ de O₃ por 15, 30 e 45 min (T5, T6 e T7). Experimento 2: No experimento com névoa ozonizada analisou-se uma concentração fixa de ozônio (20 mg L⁻¹) em tempos de exposição de 3, 5 e 7 min (T2, T3 e T4). Também avaliou-se três tempos de exposição a névoa pura (isenta de ozônio) por 3, 5 e 7 min (T5, T6 e T7).

Em ambos os experimentos, o ozônio foi produzido por efeito corona (descarga de barreira dielétrica-DBD) a 25 °C, através de um gerador de O₃ modelo M10® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brazil) com capacidade de produção de 10 g h⁻¹. O oxigênio (90% de pureza) foi proveniente de um concentrador de oxigênio modelo EverFlo™ OPI 5LPM (Philips Respironics Inc., México), injetado na vazão volumétrica de 1,5 L min⁻¹, aferida por um medidor de vazão modelo MF5700® (Siargo Ltd, Chengdu, Sichuan, China).

As concentrações de ozônio utilizadas nos experimentos foram quantificadas pelo método iodométrico de titulação indireta (RAKNESS et al., 1996), em consonância com a International Ozone Association (IOA). Para a quantificação, o gás ozônio foi borbulhado por 15 segundos em 50 mL de solução de iodeto de potássio (KI 2%) em um erlenmeyer de 125,0 mL, logo após acrescentou-se 2,5 ml de solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,5 mol L⁻¹ e titulou-se com solução padronizada de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) 0,01 mol L⁻¹ até atingir tom amarelo claro, posteriormente adicionou-se 1 mL de solução de Amido (C₆H₁₀O₅) 1% e titulou-se novamente com tiosulfato até atingir ponto de viragem.

Experimento 1 - Ozônio gasoso: As lichias foram expostas ao gás ozônio em protótipo cilíndrico de PVC com 0,3 m de diâmetro e 0,3 m de altura. A entrada do gás foi instalada na parte inferior do protótipo e a saída do ozônio residual na parte superior (Figura 1 A). Uma tela de metal foi fixada a 0,10 m do fundo do cilindro para sustentação das frutas e formação de um *plenum*, visando a passagem e distribuição uniforme do gás ozônio (Figura 1 A).

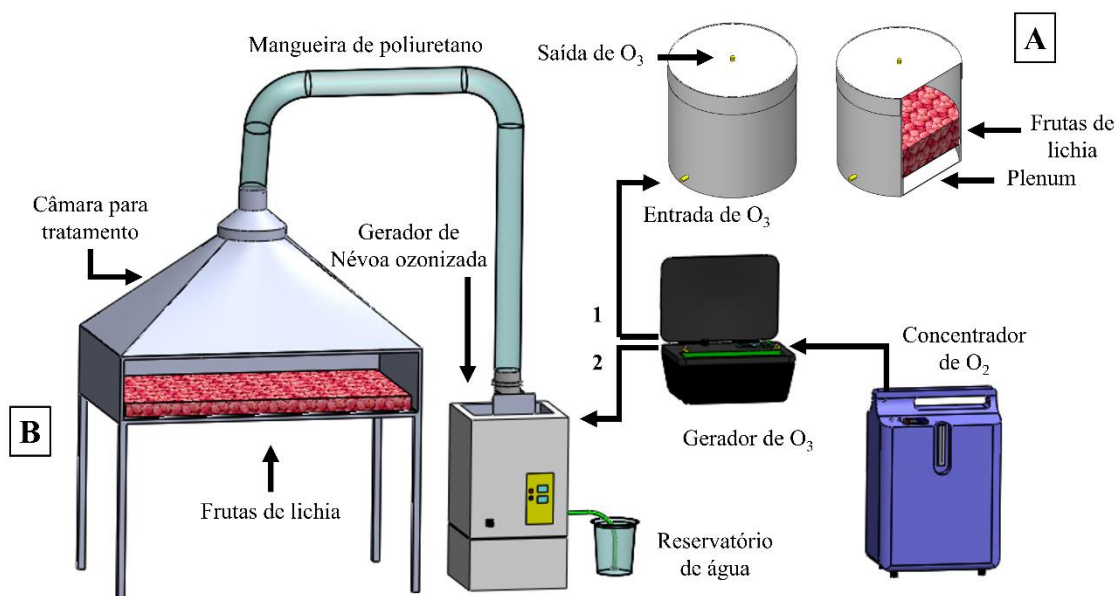


Figura 1. A. Esquema experimental da aplicação de ozônio gasoso em frutas de lichia; B. Esquema experimental da aplicação de névoa ozonizada e névoa pura em frutas de lichia.

Experimento 2 - Névoa ozonizada: Para o direcionamento e contenção da névoa ozonizada, foi utilizado uma coifa metálica (Figura 1 B). As frutas de lichia foram dispostas sobre uma tela metálica a uma distância de 0,30 m do ponto emissão da névoa ozonizada (Figura 1 B). A névoa foi conduzida do gerador de névoa modelo N10® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brazil) até a coifa através de uma mangueira de poliuretano transparente, reforçada com aço cobreado (Figura 1 B).

2.3 Armazenamento das lichias após a ozonização

Amostras de lichias expostas ao ozônio gasoso, névoa ozonizada, névoa pura e amostras controle foram identificadas, pesadas e acondicionadas em bandejas retangulares de poliestireno (21,5 cm x 14,5 cm) vedadas com filme PVC (Policloreto de Vinila). As bandejas foram preenchidas com 150 ± 10 gramas, aproximadamente 8 frutas. Cada bandeja correspondeu a uma unidade amostral. As amostras foram armazenadas em sala climatizada sob temperatura de 17 °C e umidade relativa de 56%, a fim de se aproximar das condições naturais de comercialização da fruta em feiras e mercados. As avaliações aconteceram imediatamente após o tratamento das frutas no dia 0 e depois de 2, 4, 6, 7 e 8 dias de armazenamento.

2.4 Análises de qualidade

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e Commission International de L'Eclairage (CIE, 2004). Para avaliações do teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C e cor da polpa, a casca e as semente era retirada e a polpa das amostras processada com um Mixer-processador de alimentos modelo RI1341 (Philips Walita, China). As análises de qualidade referentes a firmeza, pH, acidez total titulável e vitamina C foram feitas em triplicata e as de sólidos solúveis e cor da polpa, em quadruplicata.

2.4.1 Perda de massa fresca (%)

As amostras foram pesadas em balança semi analítica digital com precisão de 1×10^{-2} modelo BK 8000 (Gehaka, São Paulo, Brasil). O percentual de perda de massa fresca consiste

na diferença entre a massa inicial de cada amostra no dia 0 e aos 2, 4, 6, 7 e 8 dias de armazenamento, multiplicada por 100 e dividida pela massa inicial (Equação 1).

$$WLt(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

Em que: WLt (%) representa o percentual de perda de massa do dia avaliativo, W_0 a massa inicial da amostra no dia 0 e W_t a massa da amostra do dia avaliado. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

2.4.2 Firmeza (Newton)

A firmeza foi determinada por penetrômetro digital modelo PTR 300 Fruit Hardness Tester (Instrutherm, São Paulo, Brasil). Três frutas de cada parcela foram aferidas nas direções transversal, longitudinal e diagonal. Uma ponta de penetrômetro de 3 mm foi utilizada para perfuração das frutas. A força de compressão foi expressa em Newtons (N).

2.4.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)

A concentração de sólidos solúveis totais foi mensurada por refratômetro digital modelo Poket Refractometer PAL-3 (Atago, Tóquio, Japão). O equipamento utiliza uma gota de polpa triturada para leitura do °Brix. Em cada parcela experimental foram realizadas quatro leituras.

2.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

A medição do pH foi feita por imersão de pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil) em solução contendo 10 g de polpa triturada e 100 mL de água destilada.

2.4.5 Acidez total titulável (ácido cítrico)

A acidez total titulável (% de ácido cítrico em 100 g de polpa) foi aferida pela potenciometria em solução contendo 10 g de polpa triturada e 100 mL de água destilada, por

meio de pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil) e titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 M), até o pH do equipamento atingir 8,2. Os resultados da acidez total titulável foram obtidos pela Equação 2.

$$\text{Ácido cítrico (\% porcentagem por 100 g)} = \frac{V \times f \times 10}{m} \quad (2)$$

No cálculo, o volume (mL) de hidróxido de sódio é representado por V, o fator de correção por f e a massa da amostra (g) por m.

2.4.6 Vitamina C (ácido ascórbico)

A vitamina C (mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa) foi quantificada por titulometria, baseando-se na oxidação de ácido ascórbico pelo iodato de potássio 0,002 M em solução contendo 10 g de polpa triturada, 50 mL de água destilada, 10 mL de ácido sulfúrico 20%, 1 mL de iodeto de potássio 10% e 1 mL amido 1%. O ponto de viragem da titulação foi determinado pelo indicador de amido, ao atingir coloração azul violeta escuro e o teor de ácido ascórbico calculado de acordo com o volume (mL) gasto na titulação (Equação 3).

$$\text{Ácido ascórbico (mg } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{100 \times V \times f}{m} \quad (3)$$

O volume (mL) de iodato de potássio gasto na titulação é representado por V, o fator estequiométrico de 0,8806 por f e a massa da amostra (g) por m.

2.4.7 Cor da casca e polpa

Para a cor da casca, considerou-se cinco frutas de cada parcela e duas medições por fruta. As medições foram realizadas em lados opostos na parte superior da fruta (região de maior diâmetro). Para a cor da polpa, todas as frutas da parcela foram consideradas. A polpa processada de cada parcela foi vertida em embalagens de plástico transparente e quatro leituras realizadas, duas em cada lado da embalagem.

A cor foi determinada por colorímetro digital modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão), obtendo-se valores das coordenadas L*, a* e b* do sistema Hunter. A partir

dessas coordenadas, calculou-se os valores de diferença de cor (ΔE^*), tonalidade (h^*) (Equação 5) e croma (C^*) (Equação 6).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (4)$$

$$h^* = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

Nas fórmulas, a coordenada L^* mensura a cor em termos de intensidade branco a preto; a coordenada a^* mensura as cores vermelho e verde e a coordenada b^* as cores amarelo e azul. As coordenadas obtidas no tempo 0 são representadas por a_0 , b_0 e L_0 . A diferença de cor (ΔE^*), do dia 0 foi calculada em relação aos valores médios de L^* , a^* e b^* , obtidos na caracterização inicial.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e regressão. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o software Sisvar 5.6. Para comparação do controle com os demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnet a 5% de probabilidade, por meio do programa Assistat 7.7. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't' de Student a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2/r^2 = \frac{SQ_{Reg}}{SQ_{Trat}}$) e no comportamento do fenômeno em estudo, através do software Saeg 9.1. Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo.

3. RESULTADOS

3.1 Perda de massa fresca e firmeza

A Tabela 1 apresenta os valores médios da perda de massa fresca (%) e firmeza (N) de frutas de lichia submetidas ao ozônio gasoso e névoa ozonizada. No ensaio com ozônio gasoso, efeitos significativos ($P < 0,05$) foram verificados para a perda de massa fresca somente no segundo dia do armazenamento. Para este tempo de armazenamento, o maior percentual de perda foi resultante do tratamento de 20 mg L⁻¹/45 min (T7=3,12%), que também apresentou diferenças em comparação ao controle (T1). Para a névoa ozonizada, essa variável foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) pelos tratamentos aos 2, 4 e 7 dias de armazenamento. No segundo e sétimo dia do armazenamento, os maiores percentuais médios para a perda de massa fresca foram provenientes do tratamento de 20 mg L⁻¹/3 min de névoa ozonizada (T4=5,27 e 9,72%) e no quarto dia do armazenamento, resultantes do tratamento com névoa isenta de ozônio por 5 min (T6=6,37%). Em comparação ao controle (T1), diferenças também foram observadas para a névoa isenta de ozônio/5 min (T6) e percebidas apenas no quarto dia do armazenamento.

Com relação a variável firmeza, não foram observados efeitos significativos ($P > 0,05$) no experimento com ozônio gasoso, em nenhum dos tempos de armazenamento. Quando comparado ao controle (T1), diferenças ocorreram somente no quarto dia do armazenamento, verificadas no tratamento de 10 mg L⁻¹/15 min (T2). No ensaio com névoa ozonizada, os efeitos significativos ($P < 0,05$) ocorreram apenas no tempo 0, com maiores médias resultantes dos tratamentos de ozônio (T2=12,39; T3=9,41 e T4=10,03 N). Em relação ao controle (T1), foram observadas diferenças com 0 e 7 dias de armazenamento, nos tratamentos de 20 mg L⁻¹ de névoa ozonizada por 3 e 5 min (T2 e T3), respectivamente. Entre o primeiro e sétimo dia do armazenamento, a força de compressão registrada nas frutas tratadas com ozônio gasoso, esteve em torno de 6,00 N. Nas frutas tratadas com névoa ozonizada, observou-se que nos primeiros dias avaliativos (dias 0 e 2), a força de compressão foi próxima de 10,00 N. Entretanto, no quarto e sétimo dia do armazenamento, os valores registrados para a força de compressão, não se diferenciam dos valores observados nas frutas tratadas com ozônio gasoso. No último dia avaliativo (dia 8), a força de compressão esteve em torno de 5,5 N para todos os tratamentos, em ambos os ensaios.

Tabela 1. Valores médios da perda de massa fresca e firmeza, para as respectivas combinações de tratamentos e tempos de armazenamento, em lichias tratadas com ozônio gasoso e névoa ozonizada.

Ozônio gasoso							Névoa ozonizada						
Perda de massa fresca (%)							Perda de massa fresca (%)						
Armazenamento (dias)							Armazenamento (dias)						
Trat.	0	2	4	6	7	8	Trat.	0	2	4	6	7	8
T1	-	2,60 ab	4,63 a	6,51 a	8,22 a	9,18 a	T1	-	2,60 ab	4,63 b	6,51 a	8,22 ab	9,18 a
T2	-	2,64 ab	4,66 a	6,00 a	7,72 a	8,77 a	T2	-	5,27 a	5,73 a	7,90 a	9,72 a	10,65 a
T3	-	2,61 ab	4,97 a	6,86 a	7,30 a	9,85 a	T3	-	3,10 ab	5,79 a	8,49 a	8,27 ab	10,65 a
T4	-	2,21 b	4,46 a	6,97 a	7,02 a	9,48 a	T4	-	3,35 ab	5,54 a	7,07 a	8,64 ab	9,59 a
T5	-	2,45 b	4,97 a	6,82 a	7,72 a	8,34 a	T5	-	1,57 b	5,64 a	7,46 a	9,58 a	11,53 a
T6	-	3,09 a	5,64 a	6,72 a	7,70 a	7,46 a	T6	-	3,20 ab	6,37 a*	7,96 a	9,18 a	10,49 a
T7	-	3,12 a*	5,19 a	6,94 a	7,14 a	9,10 a	T7	-	2,43 ab	3,56 b	5,37 a	5,80 b	7,45 a
Trat.	Firmeza (N)						Trat.	Firmeza (N)					
T1	7,83 a	6,69 a	4,85 a	7,93 a	3,96 a	4,00 a	T1	7,83 b	6,69 a	4,85 a	7,93 a	3,96 a	4,00 a
T2	7,97 a	6,59 a	9,18 a*	6,07 a	6,62 a	4,12 a	T2	12,39 a*	8,49 a	5,04 a	6,29 a	5,65 a	5,46 a
T3	8,44 a	5,95 a	5,95 a	6,68 a	7,22 a	3,22 a	T3	9,41 ab	10,16 a	6,19 a	5,38 a	7,32 a*	4,10 a
T4	6,22 a	5,77 a	5,90 a	6,53 a	5,55 a	4,55 a	T4	10,03 ab	9,34 a	7,48 a	5,55 a	5,84 a	3,72 a
T5	6,78 a	6,36 a	5,56 a	7,98 a	6,29 a	4,45 a	T5	8,82 b	6,57 a	5,54 a	6,12 a	6,57 a	4,32 a
T6	6,74 a	6,54 a	5,33 a	6,08 a	5,38 a	2,57 a	T6	8,69 b	7,28 a	6,60 a	5,69 a	6,24 a	5,05 a
T7	5,87 a	5,93 a	6,71 a	6,44 a	7,01 a	3,03 a	T7	7,24 b	6,64 a	5,97 a	6,02 a	6,65 a	3,34 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. **Ozônio gasoso:** T1-Controle; T2-10 mg L⁻¹/15 min; T3-10 mg L⁻¹/30 min; T4-10 mg L⁻¹/45 min; T5-20 mg L⁻¹ /15 min; T6-20 mg L⁻¹/30 min; T7-20 mg L⁻¹/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L⁻¹/3 min; T3-20 mg L⁻¹/5 min; T4-20 mg L⁻¹/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

Na Tabela 2 são apresentadas as equações de regressão com os respectivos coeficientes de determinação (R^2/r^2) que descrevem o comportamento observado para a perda de massa fresca (%) e firmeza (N), nos experimentos com ozônio gasoso e névoa ozonizada. Os tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para os fatores tempo de armazenamento e tempos de exposição, foram descritos pela média geral.

No ensaio com ozônio gasoso, os efeitos significativos foram provenientes apenas do tempo de armazenamento ($P<0,01$). Nos tratamentos de névoa ozonizada, foi observado efeito linear tanto para o tempo de armazenamento ($P<0,01$), como para os tempos de exposição ($P<0,01$). A névoa isenta de ozônio apresentou efeito linear para o tempo de armazenamento ($P<0,01$) e quadrático para tempos de exposição ($P<0,01$). Em ambos os experimentos, o acréscimo médio no percentual de perda de massa foi próximo de 1% a cada dia avaliativo. No experimento com ozônio gasoso, observou-se um menor acréscimo no percentual da perda de massa à medida que se elevou a concentração do gás ozônio de 10 mg L⁻¹ (T2, T3 e T4) para 20 mg L⁻¹ (T5, T6 e T7). Os coeficientes de determinação (R^2/r^2) obtidos para a perda de massa fresca nos dois experimentos, encontram-se na faixa de 0,9289 a 0,9924.

Para a firmeza, não foram verificados efeitos significativos relacionados ao ozônio em nenhum dos experimentos. Os efeitos encontrados para essa variável no ensaio com névoa ozonizada, foram decorrentes apenas do tempo de armazenamento ($P<0,01$), observando-se efeitos lineares para este fator. Verificou-se que as reduções na firmeza entre os dias avaliativos foram mais acentuadas na presença de névoa ozonizada (T2, T3 e T4), em comparação com a névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7). A cada dia avaliativo, as frutas provenientes dos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3 e T4) apresentaram perda média de 0,72 N e para a névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7), essa perda média foi de 0,36 N. Os coeficientes de determinação (r^2) do experimento com névoa ozonizada foram de 0,6312 e 0,7765.

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2/r^2) para perda de massa fresca e firmeza de lichias, em função do tempo de armazenamento (TE) e tempos de exposição (TEMP), para os respectivos experimentos e tratamentos analisados.

Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Perda de massa fresca (%)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 0,267 + 1,104^{***}TE$	0,9924
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 0,2744 + 1,0791^{***}TE$	0,9630
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 1,3804 + 0,88504^{***}TE$	0,9507
Névoa ozonizada	Perda de massa fresca (%)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 0,267 + 1,104^{***}TE$	0,9924
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 2,904 + 1,0524^{***}TE - 0,25393^{***}TEMP$	0,9567
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = - 4,8805 + 1,17934^{***}TE + 2,93894^{***}TEMP - 0,34974^{***}TEMP^2$	0,9289
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Firmeza (N)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 5,87$	-
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 6,25$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 5,83$	-
Névoa ozonizada	Firmeza (N)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 5,87$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 10,36 - 0,724^{***}TE$	0,7765
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 7,93 - 0,363^{***}TE$	0,6312

Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t de Student. **Ozônio gasoso: T1-Controle; T2-10 mg L⁻¹/15 min; T3-10 mg L⁻¹/30 min; T4-10 mg L⁻¹/45 min; T5-20 mg L⁻¹ /15 min; T6-20 mg L⁻¹/30 min; T7-20 mg L⁻¹/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L⁻¹/3 min; T3-20 mg L⁻¹/5 min; T4-20 mg L⁻¹/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

3.2 Sólidos solúveis, pH, acidez total titulável e vitamina C

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%) e vitamina C (ácido ascórbico), em frutas submetidas ao ozônio gasoso e névoa ozonizada. O teor de sólidos solúveis totais foi influenciado significativamente ($P<0,05$) pelo ozônio gasoso apenas no tempo 0, com maiores médias observadas nos tratamentos de 10 mg L⁻¹ de O₃ (15, 30 e 45 min/T2, T3 e T4) e 20 mg L⁻¹/45 min (T7). Quando comparado ao controle (T1), estes mesmos tratamentos também apresentaram diferenças. No ensaio de névoa ozonizada os efeitos significativos ($P<0,05$) ocorreram com 2, 4 e 8 dias do armazenamento. Imediatamente após a ozonização (dia 0), diferenças também foram encontradas nos tratamentos de névoa ozonizada 20 mg L⁻¹/3 min (T2) e névoa isenta de ozônio/7 min (T7). O teor de sólidos solúveis totais variou de 18,69 a 20,65 °Brix em lichias tratadas com ozônio gasoso e de 18,69 a 19,91 °Brix em frutas submetidas a névoa ozonizada.

Com relação ao pH, efeitos significativos ($P<0,05$) dos tratamentos foram observados aos 7 e 8 dias de armazenamento para o ozônio gasoso e aos 2 dias de armazenamento, para a névoa ozonizada. Quanto a acidez total titulável, os efeitos significativos ($P<0,05$) ocorreram aos 7 de armazenamento para o ozônio gasoso e 4 dias de armazenamento, para a névoa ozonizada. Os valores de pH registrados para frutas tratadas com ozônio gasoso variaram de 4,32 a 4,57 e de 4,43 a 4,63 para frutas expostas a névoa ozonizada. A acidez total titulável de lichias tratadas com ozônio gasoso e névoa ozonizada esteve na faixa de 0,43 a 0,53% e de 0,38 a 0,49%, respectivamente.

A vitamina C foi influenciada significativamente ($P<0,05$) pelo ozônio gasoso entre o segundo e sexto dia do armazenamento. Para a névoa ozonizada, os efeitos significativos ($P<0,05$) foram verificados com 4, 6 e 8 dias do armazenamento. Não foram observadas diferenças dos tratamentos comparativamente ao controle (T1) em nenhum dos experimentos. Em ambos os ensaios, essa variável apresentou tendência semelhante. Decréscimos mais acentuados ocorreram até o quarto dia do armazenamento. Os valores partem de aproximadamente 7 e 8 mg no dia 0, permanecendo próximos de 4,00 mg entre o sexto e oitavo dia do armazenamento.

Tabela 3. Valores médios de sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C, para as respectivas combinações de tratamentos e tempos de armazenamento, em lichias tratadas com ozônio gasoso e névoa ozonizada.

Ozônio gasoso							Névoa ozonizada						
Sólidos solúveis totais (°Brix)							Sólidos solúveis totais (°Brix)						
Armazenamento (dias)							Armazenamento (dias)						
Trat.	0	2	4	6	7	8	Trat.	0	2	4	6	7	8
T1	18,69 b	20,37 a	20,35 a	18,80 a	18,00 a	18,53 a	T1	18,69 a	20,37 a	20,35 a	18,80 a	18,00 a	18,53 a
T2	20,55 a*	19,63 a	19,31 a	18,64 a	16,04 a*	18,73 a	T2	19,91 a*	19,65 ab	18,77 ab	18,81 a	18,55 a	16,90 a
T3	20,65 a*	19,51 a	19,03 a	18,69 a	17,28 a	18,25 a	T3	19,63 a	19,24 ab*	18,83 ab	18,82 a	18,86 a	18,37 a
T4	20,02 ab*	19,69 a	19,28 a	18,67 a	17,65 a	17,68 a	T4	19,61 a	19,42 ab*	18,88 ab	18,63 a	18,85 a	15,87 ab
T5	19,32 ab	19,81 a	19,13 a	18,79 a	17,42 a	18,62 a	T5	19,66 a	19,25 b*	18,68 ab	19,14 a	18,05 a	13,07 bc*
T6	19,79 ab	20,60 a	18,65 a	18,07 a	16,83 a	17,93 a	T6	19,61 a	19,73 b	17,64 b*	18,97 a	18,31 a	12,93 bc*
T7	20,35 a*	20,03 a	18,67 a	18,61 a	17,43 a	18,80 a	T7	19,82 a*	19,55 ab	18,10 ab*	18,68 a	18,66 a	12,13 c*
Potencial hidrogeniônico (pH)							Potencial hidrogeniônico (pH)						
T1	4,50 a	4,58 a	4,63 a	4,63 a	4,50 ab	4,33 b	T1	4,50 a	4,58 a	4,63 a	4,63 a	4,50 a	4,33 a
T2	4,55 a	4,57 a	4,95 a	4,55 a	4,70 a	4,88 a*	T2	4,55 a	4,57 a	4,45 a	4,68 a	4,30 a	4,67 a
T3	4,37 a	4,53 a	4,87 a	4,63 a	4,37 b	4,43 b	T3	4,48 a	4,57 a	4,83 a	4,33 a	4,17 a*	4,33 a
T4	4,32 a	4,70 a	4,73 a	4,67 a	4,77 a*	4,52 ab	T4	4,47 a	4,57 a	4,77 a	4,60 a	4,17 a*	4,45 a
T5	4,37 a	4,75 a	4,68 a	4,68 a	4,70 a	4,32 b	T5	4,63 a	4,18 b*	4,63 a	4,52 a	4,20 a	4,35 a
T6	4,57 a	4,63 a	4,73 a	4,55 a	4,63 ab	4,53 ab	T6	4,43 a	4,00 b*	4,55 a	4,73 a	4,52 a	4,38 a
T7	4,33 a	4,62 a	4,97 a	4,62 a	4,67 ab	4,47 ab	T7	4,62 a	4,00 b*	4,77 a	4,47 a	4,38 a	4,32 a
Acidez total titulável (%)							Acidez total titulável (%)						
T1	0,46 a	0,42 a	0,44 ab	0,38 a	0,44 a	0,57 a	T1	0,46 a	0,42 a	0,44 ab	0,38 a	0,44 a	0,57 a
T2	0,43 a	0,45 a	0,28 a	0,43 a	0,32 bc	0,30 a*	T2	0,41 a	0,38 a	0,50 a	0,39 a	0,40 a	0,45 a
T3	0,52 a	0,47 a	0,32 a	0,36 a	0,47 a	0,47 a	T3	0,46 a	0,44 a	0,31 b	0,54 a	0,44 a	0,61 a
T4	0,50 a	0,43 a	0,38 a	0,39 a	0,27 c*	0,49 a	T4	0,46 a	0,39 a	0,35 ab	0,37 a	0,41 a	0,39 a
T5	0,49 a	0,35 a	0,38 a	0,36 a	0,34 abc	0,57 a	T5	0,38 a	0,39 a	0,39 ab	0,48 a	0,42 a	0,59 a
T6	0,44 a	0,43 a	0,37 a	0,38 a	0,36 abc	0,41 a	T6	0,49 a	0,37 a	0,46 ab	0,33 a	0,32 a	0,46 a
T7	0,53 a	0,41 a	0,31 a	0,39 a	0,33 abc	0,43 a	T7	0,40 a	0,39 a	0,36 ab	0,49 a	0,37 a	0,57 a

Vitamina C (ácido ascórbico)							Vitamina C (ácido ascórbico)						
Trat.							Trat.						
T1	8,22 a	5,58 ab	5,58 ab	5,14 ab	3,82 a	4,40 a	T1	8,22 a	5,58 a	5,58 b	5,14 ab	3,82 a	4,40 a
T1	8,66 a	8,22 ab	6,02 ab	5,28 ab	4,11 a	4,11 a	T1	6,75 a	6,90 a	4,70 b	5,28 a	3,52 a	4,26 a
T3	7,34 a	9,10 a	5,72 ab	5,43 a	3,96 a	3,82 a	T3	7,78 a	6,16 a	4,84 b	4,40 c	3,82 a	3,82 ab
T4	8,07 a	6,31 ab	5,28 ab	4,40 bc	3,23 a	4,11 a	T4	9,39 a	5,43 a	4,84 b	4,70 bc	3,52 a	4,11 a
T5	7,63a	6,16 ab	5,14 b	4,40 bc	4,26 a	4,55 a	T5	7,04 a	6,60 a	6,02 b	4,40 c	4,11 a	2,94 b
T6	6,46 a	5,43 ab	6,02 ab	4,40 bc	3,23 a	4,40 a	T6	6,60 a	8,51 a	8,81 a	4,40 c	3,67 a	3,67 ab
T7	6,31 a	4,84 b	6,16 a	3,96 c	3,23 a	4,26 a	T7	6,46 a	6,75 a	8,51 a	4,26 c	4,99 a	3,38 ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. **Ozônio gasoso:** T1-Controle; T2-10 mg L⁻¹/15 min; T3-10 mg L⁻¹/30 min; T4-10 mg L⁻¹/45 min; T5-20 mg L⁻¹/15 min; T6-20 mg L⁻¹/30 min; T7-20 mg L⁻¹/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L⁻¹/3 min; T3-20 mg L⁻¹/5 min; T4-20 mg L⁻¹/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

A Tabela 4 apresenta as equações de regressão com os respectivos coeficientes de determinação (R^2/r^2) que descrevem o comportamento observado ao longo do armazenamento para o teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%) e vitamina C (ácido ascórbico), nos experimentos com ozônio gasoso e névoa ozonizada. Os tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para os fatores tempo de armazenamento e tempos de exposição, foram descritos pela média geral. Os efeitos significativos observados sobre essas características nos dois experimentos analisados, estiveram relacionados apenas ao tempo de armazenamento.

O teor de sólidos solúveis totais apresentou efeito linear para o tempo de armazenamento nos tratamentos de ozônio gasoso ($P<0,01$) e tratamentos de névoa isenta de ozônio ($P<0,01$) e efeito quadrático nos tratamentos de névoa ozonizada ($P<0,01$). No experimento de névoa ozonizada, houve uma maior redução no teor de sólidos solúveis totais entre os dias avaliativos, quando comparado ao experimento de ozônio gasoso. Nos tratamentos de ozônio gasoso (T2, T3, T4, T5, T6 e T7), essa perda média foi próxima de 0,30 $^{\circ}$ Brix a cada dia avaliativo e para a névoa ozonizada (T2, T3 e T4) e névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7), próxima de 0,80 $^{\circ}$ Brix. Os coeficientes de determinação (R^2/r^2) encontrados para o teor de sólidos solúveis totais variaram de 0,5971 a 0,8339. Com relação ao potencial hidrogeniônico e acidez total titulável, efeitos significativos foram encontrados somente nos tratamentos de ozônio gasoso contendo 20 mg L⁻¹ de O₃ (T5, T6 e T7). Foram observados efeitos quadráticos para o tempo de armazenamento ($P<0,01$) para essas duas variáveis. A cada dia avaliativo, os acréscimos médios nos valores de pH destes tratamentos, foram de 0,16 e as reduções médias de ácido cítrico foram de 0,06%.

Quanto a vitamina C, verificou-se efeitos lineares para o tempo de armazenamento nos tratamentos de ozônio gasoso ($P<0,01$) e quadráticos nos tratamentos de névoa ozonizada ($P<0,05$) e névoa isenta de ozônio ($P<0,01$). Houve uma maior degradação desse constituinte em lichias expostas a névoa ozonizada (T2, T3 e T4), em comparação com os demais tratamentos. A cada dia avaliativo a redução média da vitamina C proveniente dos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3 e T4), foi de 0,98 mg 100 g⁻¹ de polpa e de 0,53 mg 100 g⁻¹ de polpa, para a névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7). Nos tratamentos de ozônio gasoso (T2, T3, T4, T5, T6 e T7) e no controle (T1), essa perda média foi abaixo de 0,60 mg 100 g⁻¹ de polpa, a cada dia avaliativo. Os coeficientes de determinação (R^2/r^2) obtidos para essa variável nos dois experimentos estiveram na faixa de 0,7581 a 0,8430.

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2/r^2) para sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C de lichias, em função do tempo de armazenamento (TE) e tempos de exposição (TEMP), para os respectivos experimentos e tratamentos analisados.

Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Sólidos solúveis totais (°Brix)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 18,70 + 2,7051*\sqrt{TE} - 1,0424*TE$	0,8339
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 20,3851 - 0,3414**TE$	0,7122
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 20,1123 - 0,28617**TE$	0,6269
Névoa ozonizada	Sólidos solúveis totais (°Brix)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 18,70 + 2,7051*\sqrt{TE} - 1,0424*TE$	0,8339
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 19,16 + 0,7684^{\circ}TE - 0,1679**TE^2$	0,6523
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 20,11 - 0,79**TE$	0,5971
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Potencial hidrogeniônico (pH)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 4,4757 + 0,10306*TE - 0,014519*TE^2$	0,8735
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 4,61$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 4,4222 + 0,16625**TE - 0,02021**TE^2$	0,6336
Névoa ozonizada	Potencial hidrogeniônico (pH)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 4,4757 + 0,10306*TE - 0,014519*TE^2$	0,8735
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 4,49$	-
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 4,42$	-
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Acidez total titulável	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 0,45$	-
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 0,40$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 0,493817 - 0,06666**TE + 0,007497**TE^2$	0,5388
Névoa ozonizada	Acidez total titulável	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 0,45$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 0,42$	-
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 0,42$	-

Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ozônio gasoso	Vitamina C	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 7,45 - 0,4433^{**}TE$	0,8075
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 8,3483 - 0,5814^{**}TE$	0,8334
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 6,6067 - 0,34657^{**}TE$	0,7005
Névoa ozonizada	Vitamina C	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 7,45 - 0,4433^{**}TE$	0,8075
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 7,9281 - 0,9801^{**}TE + 0,06096^{*}TE^2$	0,8430
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 6,8095 + 0,53457^{*}TE - 0,127714^{**}TE^2$	0,7581

Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t de Student. **Ozônio gasoso: T1-Controle; T2-10 mg L-1/15 min; T3-10 mg L-1/30 min; T4-10 mg L-1/45 min; T5-20 mg L-1 /15 min; T6-20 mg L-1/30 min; T7-20 mg L-1/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L-1/3 min; T3-20 mg L-1/5 min; T4-20 mg L-1/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

3.3 Cor da casca e polpa

A Figura 2 demonstra a aparência das frutas de lichia tratadas com ozônio gasoso e névoa ozonizada ao longo do armazenamento. Verificou-se uma maior perda de cor vermelha e escurecimento da casca em frutas submetidas a névoa ozonizada, em comparação ao controle (T1) e em relação a frutas tratadas com ozônio gasoso. A aplicação do ozônio gasoso na concentração de 10 mg L⁻¹ (T2, T3 e T4) foi mais eficiente para preservar a cor da casca quando comparada a concentração de 20 mg L⁻¹ (T5, T6 e T7), independente do tempo de exposição.

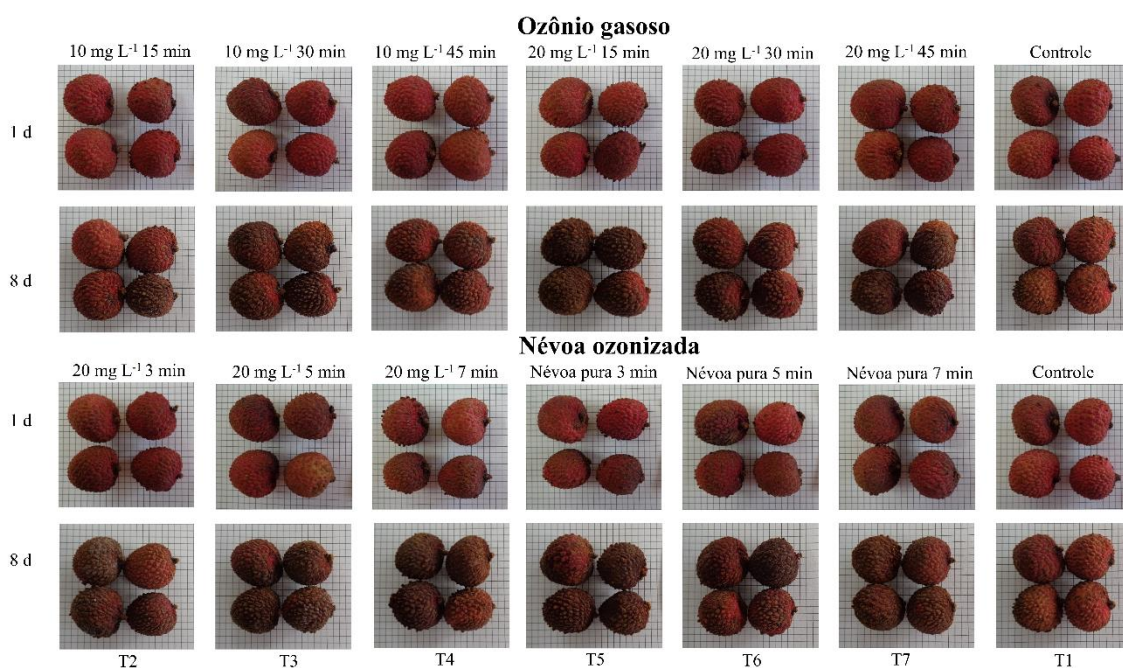


Figura 2. Aparência externa das lichias no início e fim do armazenamento (dias 1 e 8). Escala: 0,5 cm.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios obtidos na análise de cor da casca e polpa de lichias expostas ao ozônio gasoso e névoa ozonizada. Com relação a cor da casca, as três variáveis de cor foram influenciadas significativamente ($P < 0,05$) pelo ozônio gasoso. A diferença de cor da casca apresentou efeitos significativos aos 8 dias do armazenamento para o ozônio gasoso, com maiores médias resultantes dos tratamentos de 20 mg L⁻¹/30 e 45 min (T6=11,30 e T7=11,06 Dif*). Estes tratamentos também se diferenciaram do controle (T1). Para a tonalidade da casca, os efeitos significativos ($P < 0,05$) encontrados no ensaio de ozônio gasoso foram constatados aos 2, 7 e 8 dias do armazenamento e para a saturação da casca, aos 2, 4, 6 e 8 dias do armazenamento.

No experimento de névoa ozonizada, somente a diferença de cor apresentou efeitos significativos ($P < 0,05$) dentre as variáveis de cor da casca. Em todos os tempos do armazenamento, foram encontradas diferenças entre os tratamentos e em comparação ao controle (T1), sendo as maiores médias provenientes dos três tempos de exposição ao ozônio (20 mg L^{-1} por 3, 5 e 7 min/T2, T3 e T4) e as menores médias, dos três tempos de exposição a névoa isenta de ozônio (3, 5 e 7 min/T5, T6 e T7).

Quanto as variáveis de cor da polpa, não foram observados efeitos significativos ($P < 0,05$) no ensaio de ozônio gasoso, sobre a diferença de cor. Para tonalidade e saturação da polpa, os efeitos significativos ($P < 0,05$) do ozônio gasoso foram percebidos aos 6 e 4 dias do armazenamento, respectivamente. No experimento de névoa ozonizada, verificou-se que as três variáveis de cor da polpa foram afetadas significativamente ($P < 0,05$) no quarto dia do armazenamento. Neste tempo de armazenamento (dia 4), observou-se que o tratamento de $20 \text{ mg L}^{-1}/3 \text{ min}$ de névoa ozonizada (T2) retornou as maiores médias para a diferença de cor e saturação da polpa. Para a saturação da polpa, os efeitos ($P < 0,05$) também foram imediatos, ocorrendo logo após o tratamento das frutas no tempo 0. Comparativamente ao controle (T1), diferenças também foram encontradas para a diferença de cor e saturação da polpa no quarto dia do armazenamento e para a saturação da polpa, com 0 e 4 dias de armazenamento.

Tabela 5. Valores médios da diferença de cor, tonalidade de cor e saturação de cor da casca e polpa, para as respectivas combinações de tratamentos e tempos de armazenamento, em lichias tratadas com ozônio gasoso e névoa ozonizada.

Ozônio gasoso							Névoa ozonizada						
Diferença de cor da casca (Dif*)							Diferença de cor da casca (Dif*)						
Armazenamento (dias)							Armazenamento (dias)						
Trat.	0	2	4	6	7	8	Trat.	0	2	4	6	7	8
T1	5,69 a	5,64 a	4,92 a	4,85 a	4,92 a	6,45 bc	T1	5,69 d	5,64 c	4,92 d	4,85 d	4,92 d	6,45 b
T2	6,07 a	5,93 a	5,21 a	4,92 a	4,99 a	6,13 c	T2	10,89 ab*	10,48 ab*	9,92 ab*	10,08 ab*	11,07 ab*	9,73 a*
T3	5,25 a	4,14 a	3,88 a	4,75 a	5,47 a	7,43 abc	T3	13,02 a*	12,25 a*	11,26 a*	13,11 a*	12,50 a*	10,08 a*
T4	4,84 a	4,69 a	4,71 a	5,36 a	4,86 a	8,57 abc	T4	11,43 ab*	11,13 a*	11,31 a*	11,60 ab*	11,55 ab*	11,00 a*
T5	4,00 a	4,08 a	4,55 a	6,42 a	6,57 a	9,44 abc	T5	7,28 cd	7,26 bc	6,69 bcd	6,93 cd*	7,11 cd	9,01 a*
T6	5,88 a	5,40 a	6,74 a	7,22 a	7,28 a	11,30 a*	T6	9,24 bc*	8,93 abc*	9,14 abc*	8,83 bc*	9,24 bc*	10,88 a*
T7	5,03 a	7,00 a	6,71 a	6,99 a	8,87 a*	11,06 ab*	T7	5,93 cd	5,78 c	5,58 cd	5,28 d	5,87 d	6,11 b
Tonalidade da casca (h*)							Tonalidade da casca (h*)						
T1	31,28 a	29,42 b	30,43 a	28,47 a	31,10 bc	39,09 ab	T1	31,28 a	29,42 a	30,43 a	28,47 a	31,10 a	39,09 a
T2	30,31 a	31,41 ab	32,43 a	29,65 a	29,25 c	31,39 b	T2	28,39 a	29,90 a	29,91 a	29,07 a	28,17 a	39,01 a
T3	30,22 a	32,14 ab	30,30 a	31,75 a	31,42 abc	36,55 ab	T3	30,72 a	30,28 a	29,54 a	29,53 a	30,12 a	36,06 a
T4	30,15 a	30,82 ab	32,32 a	31,88 a	30,11 bc	38,17 ab	T4	26,07 a	28,59 a	28,78 a	28,79 a	29,24 a	41,11 a
T5	29,12 a	31,41 ab	32,57 a	31,36 a	32,92 abc	41,89 a	T5	29,81 a	28,14 a	29,49 a	32,18 a*	31,65 a	45,21 a
T6	29,29 a	31,15 ab	33,23 a	34,82 a	34,88 ab	42,12 a	T6	29,77 a	30,06 a	30,36 a	29,79 a	29,81 a	37,89 a
T7	30,02 a	34,57 a*	32,67 a	33,89 a	36,47 a*	42,18 a	T7	28,77 a	31,70 a	30,34 a	30,24 a	30,75 a	37,46 a
Saturação da casca (C*)							Saturação da casca (C*)						
T1	14,69 a	15,41 a	14,93 a	13,66 a	12,92 a	9,23 ab	T1	14,69 a	15,41 a	14,93 a	13,66 a	12,92 a	9,23 a
T2	15,01 a	15,19 a	14,25 ab	13,94 a	13,41 a	12,30 a	T2	13,42 a	14,58 a	12,98 a	13,60 a	13,39 a	10,03 a
T3	16,45 a	13,49 ab	13,74 ab	13,52 ab	12,05 a	9,92 ab	T3	11,13 a*	14,23 a	13,86 a	14,07 a	14,22 a	8,74 a
T4	16,72 a	12,72 ab*	12,98 ab	12,30 abc	12,85 a	8,58 ab	T4	13,83 a	15,59 a	15,39 a	14,71 a	13,69 a	7,51 a
T5	16,63 a	13,47 ab	12,58 ab	10,81 c*	10,56 a	8,15 b	T5	14,12 a	16,66 a	14,53 a	13,62 a	11,22 a	6,21 a
T6	18,32 a	13,17 ab	11,76 b*	11,16 bc*	11,20 a	7,08 b	T6	14,87 a	14,32 a	13,75 a	13,76 a	13,19 a	8,66 a
T7	18,03 a	11,63 b*	11,80 b*	11,71 abc	9,89 a	7,68 b	T7	14,09 a	14,79 a	13,85 a	14,16 a	13,27 a	9,66 a

Diferença de cor da polpa (Dif*)							Diferença de cor da polpa (Dif*)						
Armazenamento (dias)							Armazenamento (dias)						
Trat.	0	2	4	6	7	8	Trat.	0	2	4	6	7	8
T1	1,54 a	1,98 a	1,73 a	2,38 a	2,27 a	3,72 a	T1	1,54 a	1,98 a	1,73 b	2,38 a	2,27 a	3,72 a
T2	2,72 a	2,69 a	1,36 a	2,74 a	3,45 a	3,71 a	T2	1,69 a	1,81 a	5,90 a*	2,77 a	3,95 a	4,54 a
T3	2,05 a	2,05 a	2,12 a	3,01 a	4,43 a	2,45 a	T3	1,25 a	2,35 a	3,85 ab	2,73 a	2,37 a	5,11 a
T4	2,74 a	2,17 a	2,41 a	1,74 a	2,80 a	2,95 a	T4	1,70 a	2,52 a	4,11 ab	2,27 a	2,55 a	5,04 a
T5	2,00 a	2,23 a	2,20 a	2,95 a	4,02 a	3,66 a	T5	1,56 a	2,40 a	5,40 a*	2,54 a	3,22 a	3,13 a
T6	1,87 a	2,75 a	2,64 a	2,77 a	2,97 a	3,69 a	T6	1,54 a	1,81 a	3,85 ab	2,53 a	2,25 a	4,12 a
T7	1,35 a	2,55 a	2,42 a	1,93 a	3,18 a	3,56 a	T7	2,21 a	2,92 a	3,53 ab	2,28 a	2,30 a	3,01 a
Tonalidade da polpa (h*)							Tonalidade da polpa (h*)						
T1	123,64 a	117,00 a	114,42 a	112,70 ab	99,53 a	93,02 a	T1	123,64 a	117,00 a	114,42 a	112,70 a	99,53 a	93,02 a
T2	128,09 a	112,76 a	125,53 a	109,59 ab	89,33 a	101,05 a	T2	132,47 a	125,45 a	92,49 b*	104,27 a	104,75 a	90,89 a
T3	116,99 a	111,19 a	107,02 a	112,84 ab	94,50 a	95,68 a	T3	121,76 a	123,08 a	96,50 b*	103,71 a	103,09 a	81,30 a
T4	109,74 a	115,32 a	110,30 a	116,51 ab	90,40 a	96,16 a	T4	119,25 a	118,02 a	95,01 b*	108,34 a	104,67 a	82,18 a
T5	126,48 a	112,43 a	111,90 a	119,23 a	90,87 a	91,57 a	T5	125,99 a	126,90 a	95,15 b*	100,42 a	99,26 a	92,28 a
T6	121,41 a	110,84 a	115,20 a	99,81 b	92,78 a	89,95 a	T6	124,35 a	114,95 a	96,65 b*	110,19 a	105,94 a	85,34 a
T7	127,95 a	121,24 a	106,43 a	114,02 ab	89,98 a	86,43 a	T7	116,40 a	129,03 a	115,59 a	110,51 a	102,51 a	91,66 a
Saturação da polpa (C*)							Saturação da polpa (C*)						
T1	2,55 a	3,11 a	2,78 ab	3,17 a	3,46 a	4,41 a	T1	2,55 b	3,11 a	2,78 c	3,17 a	3,46 a	4,41 a
T2	2,55 a	3,56 a	2,12 b	3,30 a	4,17 a	2,79 a	T2	2,93 ab	2,48 a	6,59 a*	3,22 a	4,05 a	4,61 a
T3	3,06 a	3,67 a	2,97 ab	3,23 a	4,31 a	3,71 a	T3	3,68 ab	2,56 a	5,53 a*	3,22 a	3,78 a	6,62 a
T4	3,36 a	3,46 a	2,53 ab	2,87 a	4,15 a	3,84 a	T4	4,04 ab*	2,65 a	6,03 a*	3,02 a	3,90 a	6,56 a
T5	3,53 a	3,49 a	2,82 ab	2,76 a	4,95 a	4,24 a	T5	3,61 ab	2,58 a	6,30 a*	3,97 a	4,48 a	4,72 a
T6	3,49 a	4,06 a	2,79 ab	4,39 a	4,06 a	4,29 a	T6	3,78 ab	3,60 a	5,46 ab*	2,97 a	3,97 a	5,55 a
T7	3,29 a	3,11 a	3,44 a	3,25 a	4,21 a	4,77 a	T7	4,20 a*	2,77 a	2,95 bc	3,21 a	3,93 a	4,84 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. **Ozônio gasoso:** T1-Controle; T2-10 mg L⁻¹/15 min; T3-10 mg L⁻¹/30 min; T4-10 mg L⁻¹/45 min; T5-20 mg L⁻¹/15 min; T6-20 mg L⁻¹/30 min; T7-20 mg L⁻¹/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L⁻¹/3 min; T3-20 mg L⁻¹/5 min; T4-20 mg L⁻¹/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

A Tabela 6 apresenta as equações de regressão com os respectivos coeficientes de determinação (R^2/r^2) que descrevem o comportamento observado ao longo do armazenamento, para a diferença de cor (Dif*), tonalidade de cor (h^*) e saturação de cor (C^*) da casca e polpa, nos experimentos com ozônio gasoso e névoa ozonizada. Os tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para os fatores tempo de armazenamento e tempos de exposição, foram descritos pela média geral.

As três variáveis de cor da casca foram influenciadas significativamente pela presença de ozônio gasoso. Para a diferença de cor da casca, os efeitos significativos do ozônio gasoso foram presenciados somente nos tratamentos contendo 20 mg L^{-1} de O_3 (T5, T6 e T7), obtendo-se efeitos quadráticos para o tempo de armazenamento ($P < 0,01$) e tempos de exposição ($P < 0,10$). Essa mesma concentração de ozônio gasoso (20 mg L^{-1} de O_3 /T5, T6 e T7), influenciou significativamente a tonalidade da casca, apresentando efeito quadrático para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e linear para os tempos de exposição ($P < 0,10$). A saturação da casca foi influenciada significativamente pelo ozônio gasoso somente nos tratamentos contendo 10 mg L^{-1} de O_3 (T2, T3 e T4), observando-se efeitos lineares para o tempo de armazenamento ($P < 0,01$) e tempos de exposição ($P < 0,05$). As variáveis de cor da casca, não foram influenciadas significativamente pelos tempos de exposição a névoa ozonizada (T2, T3 e T4) e os efeitos significativos desses tratamentos foram decorrentes somente do tempo de armazenamento. A névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7) afetou significativamente apenas a diferença de cor da casca, resultando em efeitos quadráticos para o tempo de armazenamento ($P < 0,01$) e tempos de exposição ($P < 0,01$).

Em ambos os ensaios, os efeitos significativos obtidos para as variáveis de cor da polpa ocorreram apenas em função do tempo de armazenamento, sendo que, somente a tonalidade da polpa foi influenciada significativamente pelos tratamentos e os efeitos foram percebidos apenas no experimento de névoa ozonizada. Para essa variável, foram verificados efeitos lineares para o tempo de armazenamento ($P < 0,01$) tanto nos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3 e T4), como nos tratamentos de névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7). Foi observado comportamento decrescente para essa variável. Na presença de ozônio, os valores obtidos para o ângulo Hue (h^*) apresentaram maiores reduções entre os dias avaliativos. Nos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3 e T4), a redução média foi de $4,16 \text{ h}^*$ a cada dia avaliativo e nos tratamentos de névoa isenta de ozônio (T5, T6 e T7), essa redução média foi de $3,77 \text{ h}^*$, ambos superiores ao controle (T1), que apresentou redução média de $3,42 \text{ h}^*$.

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2/r^2) para as variáveis de cor da casca e polpa de lichia, em função do tempo de armazenamento (TE) e tempos de exposição (TEMP), para os respectivos experimentos e tratamentos analisados. Diferença de cor (Dif*), tonalidade de cor (h*) e saturação de cor (C*).

Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Diferença de cor da casca (Dif*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 5,41$	-
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 56,09 - 0,74053^{***}TE + 0,110915^{***}TE^2$	0,5332
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 1,5872 - 0,3685^{\circ}TE + 0,11697^{***}TE^2 + 0,2132^{*}TEMP - 0,3685^{\circ}TEMP^2$	0,8753
Névoa ozonizada	Diferença de cor da casca (Dif*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 5,41$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 11,24$	-
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = -5,987 - 0,4373^{***}TE + 0,0643^{***}TE^2 + 6,6128^{***}TEMP - 0,7017^{***}TEMP^2$	0,9348
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Tonalidade da casca (h*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 32,086 - 2,4953^{\circ}TE + 0,38245^{*}TE^2$	0,6785
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 31,68$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 28,857 - 0,4571^{ns}TE + 0,19828^{*}TE^2 + 0,05854^{\circ}TEMP$	0,7569
Névoa ozonizada	Tonalidade da casca (h*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 32,086 - 2,4953^{\circ}TE + 0,38245^{*}TE^2$	0,6785
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 29,629 - 1,5181^{\circ}TE + 0,281916^{*}TE^2$	0,5153
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 30,493 - 1,6611^{*}TE + 0,3137^{***}TE^2$	0,5700
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R^2/r^2
Ozônio gasoso	Saturação da casca (C*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 14,468 + 0,992^{*}TE - 0,1938^{*}TE^2$	0,9248
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 17,074 - 0,54422^{***}TE - 0,04416^{*}TEMP$	0,7021
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 16,4735 - 0,99866^{***}TE$	0,8414
Névoa ozonizada	Saturação da casca (C*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 14,468 + 0,992^{*}TE - 0,1938^{*}TE^2$	0,9248
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 12,5537 + 1,6253^{***}TE - 0,24194^{***}TE^2$	0,6384
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 14,086 + 1,0877^{*}TE - 0,21087^{***}TE^2$	0,7584

Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ozônio gasoso	Diferença de cor da polpa (Dif*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 1,3665 + 0,2^{*}TE$	0,6321
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 2,64$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 2,70$	-
Névoa ozonizada	Diferença de cor da polpa (Dif*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 1,3665 + 0,2^{*}TE$	0,6321
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 3,14$	-
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 2,81$	-
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ozônio gasoso	Tonalidade da polpa (h*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 125,462 - 3,4244^{**}TE$	0,8441
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 107,94$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 107,14$	-
Névoa ozonizada	Tonalidade da polpa (h*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 125,462 - 3,4244^{**}TE$	0,8441
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 124,681 - 4,1609^{**}TE$	0,6555
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 124,932 - 3,7737^{**}TE$	0,6615
Experimento	Variável	Tratamentos	Equações ajustadas	R ² /r ²
Ozônio gasoso	Saturação da polpa (C*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 2,4669 + 0,1731^{*}TE$	0,6665
		O ₃ 10 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 3,31$	-
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 3,71$	-
Névoa ozonizada	Saturação da polpa (C*)	Controle (T1)	$\hat{y}_i = 2,4669 + 0,1731^{*}TE$	0,6665
		O ₃ 20 mg L ⁻¹ (T2, T3 e T4)	$\hat{y}_i = 4,19$	-
		Névoa isenta de O ₃ (T5, T6 e T7)	$\hat{y}_i = 4,05$	-

Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t de Student. **Ozônio gasoso: T1-Controle; T2-10 mg L⁻¹/15 min; T3-10 mg L⁻¹/30 min; T4-10 mg L⁻¹/45 min; T5-20 mg L⁻¹ /15 min; T6-20 mg L⁻¹/30 min; T7-20 mg L⁻¹/45 min. **Névoa ozonizada:** T1-Controle; T2-20 mg L⁻¹/3 min; T3-20 mg L⁻¹/5 min; T4-20 mg L⁻¹/7 min; T5-Névoa pura/3 min; T6-Névoa pura/5 min; T7-Névoa pura/7 min.

4. DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo que compila dados sobre o uso de névoa ozonizada na pós-colheita de lichia. Neste trabalho, a névoa ozonizada influenciou significativamente a perda de massa fresca, mas não foi eficiente para reduzir os percentuais de perda em comparação ao controle. Comportamento distinto foi observado por Pandit e Shukla (2018) submetendo lichias a imersão em água ozonizada ($0,08 \text{ mg L}^{-1}$ por 12 min), onde frutas tratadas com ozônio, apresentaram menores percentuais de perda de massa fresca, em relação a frutas não ozonizadas. Efeitos negativos do ozônio sobre a perda de massa também foram observados em mirtilos submetidos ao tratamento com água ozonizada, nas concentrações de 10 mg L^{-1} de O_3 (10 e 20 min de exposição) e 18 mg L^{-1} de O_3 (10, 15, 20 e 30 min de exposição). Foi demonstrado que a presença de ozônio resultou em maiores perdas de massa ao longo do armazenamento em comparação com o controle, especialmente em tempos de exposição superiores a 15 min (JARAMILLO-SANCHÉZ et al., 2019). Em outras frutas, a exposição ao ozônio gasoso e a imersão em água ozonizada, reduziram a perda de massa. Isso foi observado em mamão (ALI et al., 2014) e morango (NAYAK et al., 2019; ZHANG et al., 2020). Esses resultados indicam que o ozônio pode reagir de forma diferente em cada vegetal dependendo da concentração e tempo de exposição utilizada.

A firmeza associada à perda de massa também possui grande importância para frutas comercializáveis. Isto porque, os consumidores tendem a relacionar textura firme a frutas mais frescas, influenciando a compra (SOARES et al., 2020). Além disso, a firmeza também é um importante parâmetro para o dimensionamento de embalagens e está relacionada à resistência contra injúrias mecânicas durante o transporte e comercialização (LUENGO et al., 2003; BECKER et al., 2015). A perda de firmeza é um processo natural na fase de pós-colheita. Nesse processo, acontecem alterações em compostos como celulose, hemicelulose e polímeros de lignina, elementos responsáveis pelo enrijecimento da célula vegetal e resistência da parede celular (AN et al., 2007). Neste estudo, a aplicação do ozônio na forma de gás e névoa não alterou a firmeza da lichia durante o armazenamento. Estudos anteriores, demonstraram que o ozônio foi eficiente para preservar a firmeza de amora preta (HAN et al., 2017), kiwi (GOFFI et al., 2018) melão (CHEN et al., 2020) e morango (PIECHOWIAK et al., 2022). A ausência de efeitos negativos sobre essa característica, também foi observado em morangos imersos em água ozonizada pelos tempos de 5, 10 e 15 min de exposição (CONTIGIANI et al., 2018). Nas frutas de longan, espécie aparentada e pertencente à mesma

família da lichia, a exposição por 5 min em ozônio gasoso na concentração de 7,42 mg L⁻¹, não alterou a firmeza das frutas (CHAMNAN et al., 2019) como observado neste estudo.

Os sólidos solúveis, pH e acidez total titulável são muito importantes para determinação do sabor em frutas de lichia. Quanto mais doces e menos adstringentes, maior é a aceitação por parte dos consumidores. Frutas não climatéricas como a lichia, apresentam naturalmente uma redução do °Brix após a colheita, proveniente da diminuição de carboidratos dominantes como glicose e frutose. O aumento do °Brix durante o amadurecimento está relacionado a transformação de amido em açúcar e esse processo não ocorre em frutas não climatéricas, por não amadurecerem depois de colhidas (LUCENA et al., 2004). Os valores de °Brix, pH e acidez total titulável estão coerentes com os da literatura. Em lichias tratadas com ozônio gasoso (80 a 240 mg L⁻¹) e ozônio em água (2,2 a 3,2 mg L⁻¹), por tempos de exposição de 10 a 60 min, as faixas foram de 16,80 a 18,60 para o °Brix e de 0,39 a 0,51% para acidez total titulável (WHANGCHAI et al., 2011). Para lichias imersas em água ozonizada na concentração de 0,08 mg L⁻¹ durante 12 min, o pH variou de 4,2 a 4,5 (PANDIT; SHUKLA, 2018).

Neste trabalho, os teores de sólidos solúveis, pH e acidez total titulável, estiveram dentro ou próximos dessas faixas e não foram influenciados pela presença de ozônio gasoso, ou névoa ozonizada. Os valores obtidos para sólidos solúveis totais e acidez total titulável ao longo do armazenamento, também estão em conformidade com a Instrução Normativa número 37, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, que estabelece os padrões de identidade e qualidade para polpa de lichia madura, que deve ser de no mínimo 8,00 para o °Brix e 0,2 para a acidez total titulável expressa em ácido cítrico (BRASIL, 2018).

Por ser um elemento de estrutura vulnerável, o ácido ascórbico é altamente susceptível a degradação durante o armazenamento (TABAKOGLU; KARACA, 2018). O decréscimo natural dessa vitamina ocorre pela oxidação ácido desidroascórbico, proveniente da perda de atividade biológica na fruta (ONOPIUK et al., 2017). Inicialmente, a vitamina C de alguns tratamentos com ozônio foi superior ao controle, especialmente até o segundo dia avaliativo. No entanto, os teores diminuíram ao longo do armazenamento. Esses aumentos iniciais da vitamina C funcionam como um mecanismo de defesa dos vegetais a presença de ozônio (TABAKOGLU; KARACA, 2018). Ao reagir com o ozônio, uma síntese de compostos como o ácido ascórbico é desencadeada (BELLINI; TULLIO, 2019). Por ser um antioxidante, o ácido ascórbico atuará na célula vegetal proporcionando resistência ao estresse oxidativo (THWE et al., 2015). Contudo, esses efeitos desapareceram a partir do sexto dia avaliativo e o teor de vitamina C foi semelhante entre os tratamentos. Comportamento similar foi observado

em amoras pretas armazenadas em atmosfera enriquecida com ozônio gasoso, nas concentrações de 0,64 e 5,14 mg L⁻¹ (TABAKOGLU; KARACA, 2018). O decréscimo da vitamina C também foi observado em framboesas vermelhas tratadas com ozônio gasoso por 60 e 120 min, com as concentrações de 0,3 e 0,9 mg L⁻¹ (ONOPIUK et al., 2017). Nas frutas com alto teor de vitamina C, como por exemplo, as cítricas, esses decréscimos podem ser menos evidentes. Em laranjas e tangerinas submetidas ao armazenamento com exposição contínua e intermitente de ozônio gasoso nas concentrações de 1,6 a 60 mg kg⁻¹, a vitamina C permaneceu estável e inalterada do início ao fim do armazenamento (GARCÍA-MARTIN et al., 2018).

O ozônio não alterou a coloração da polpa, independente da forma de aplicação. Comparando com resultados da literatura, a névoa ozonizada demonstrou maior eficiência em relação a água ozonizada. O único estudo existente que analisou essa característica em lichias ozonizadas relata que a água ozonizada ocasionou o escurecimento da polpa e uma maior deterioração (WHANGCHAI et al., 2011). Tal comportamento não ocorreu nesta pesquisa.

A qualidade visual é um atributo muito importante na comercialização de produtos frescos. Os consumidores normalmente associam mudanças na aparência externa como senescência ou perda de qualidade (BARBOZA et al., 2022). Neste estudo, a aplicação de névoa ozonizada provocou maiores alterações na cor da casca em comparação com o ozônio gasoso. Comportamento semelhante foi observado por Whangchai et al., (2011), comparando a eficiência entre o ozônio gasoso e a água ozonizada no tratamento de lichias. Constatou-se que a água ozonizada resultou em maior perda de qualidade visual quando comparada ao ozônio gasoso.

A presença de estresse oxidativo em frutas ozonizadas é um dos principais motivos para a perda de qualidade durante o armazenamento (PIECHOWIAK et al., 2021a). Durante o processo de ozonização são produzidas espécies reativas de oxigênio que podem ocasionar a oxidação de biomoléculas importantes para o funcionamento de compostos celulares como proteínas, lipídios e DNA, resultando na perda de antioxidantes, interrupção das reações enzimáticas, alterações na permeabilidade da membrana celular e senescência (PIECHOWIAK et al., 2020; PIECHOWIAK et al., 2021a).

As maiores alterações de cor na casca de lichias submetidas a névoa ozonizada, podem estar associadas a oxidação e degradação enzimática e de polifenóis, responsáveis pela regulação do escurecimento nessa fruta (TANG et al., 2020). Além disso, a oxidação de polifenóis também possui relação com a diminuição energética da molécula de ATP

(Adenosina Trifosfato), responsável pelo fornecimento da energia necessária para manutenção da atividade metabólica de membranas e da capacidade antioxidante (HUANG et al., 2019).

A presença de água no tratamento dessa fruta parece ser um processo mais complexo para conservação da casca, em função de sua própria morfologia. A lichia possui casca áspera e rugosa e com presença de microfissuras que se tornam mais evidentes durante o armazenamento, isso torna as frutas mais susceptíveis a alterações físicas quando expostas a aplicação de ozônio juntamente com água (WHANGCHAI et al., 2011). Quando aplicado por meio aquoso, o ozônio se decompõe em radicais livres como a hidroxila (OH⁻), a hidroperoxila (HO₂) e o superóxido (O₂⁻), que em excesso passa a ser tóxico para o produto (PIECHOWIAK et al., 2020). Os radicais de hidroxila (OH⁻) promovem reações eletrofílicas ou nucleofílicas e produção de ozonídeo, subproduto que realiza a quebra dos anéis aromáticos e acelera a degradação das antocianinas presentes na casca (XUE et al., 2008; TIWARI et al., 2009). O que pode explicar os resultados obtidos para as variáveis de cor da casca, nos tratamentos de névoa ozonizada, em comparação com o ozônio gasoso.

Outro fator que também pode interferir são as concentrações e tempos de exposição. Altas concentrações de ozônio e tempos de exposição inadequados podem ocasionar oxidação e descoloração na superfície dos vegetais (RODRIGUES et al., 2021). A seleção de concentrações ótimas de ozônio pode ser um processo complexo e os efeitos diferentes entre uma mesma espécie ou espécies da mesma família. Sua atuação também está relacionada à espessura da cutícula e composição da fruta, cultivar, fase de maturação e época de cultivo (SOUZA et al., 2018).

Resultados satisfatórios para preservação da casca com o uso de ozônio gasoso, também foram observados em outras frutas. Em mirtilos expostos ao ozônio gasoso na concentração de 15 mg L⁻¹ por 30 min, a cada 12 h de armazenamento, constatou-se um maior acúmulo no teor de antocianinas em frutas ozonizadas provenientes do aumento da atividade antioxidante, o que contribuiu com a preservação da qualidade ao longo do armazenamento (PIECHOWIAK et al., 2021b). A preservação desses pigmentos e consequentemente da qualidade, foi obtida em framboesas tratadas com gás ozônio a cada 12 h, em concentrações de 8 a 10 mg L⁻¹ por 30 min (PIECHOWIAK et al., 2021a). Efeitos positivos na manutenção da qualidade visual também foram verificados em mamão submetido continuamente ao gás ozônio em concentrações de 0,04, 1,6 e 4,0 ppm por 48, 96 e 144 h (ONG et al., 2013). Contudo, no tratamento de 4,0 ppm por 144 h, os mamões apresentaram alterações externas associadas ao processo de oxidação da superfície (ONG et al., 2013).

O potencial da névoa ozonizada merece ser explorado em outros produtos, adequando as concentrações e tempos de exposição a espécie agrícola e sua morfologia, bem como a finalidade de aplicação. Além disso, os efeitos da névoa ozonizada sobre o metabolismo energético do produto podem variar dependendo das condições de armazenamento. Diante dos resultados deste trabalho, recomenda-se o uso da névoa ozonizada em vegetais com maior presença de cera cuticular na parte externa ou tolerância a água, o que provavelmente otimizaria a eficiência desta técnica. Sendo assim, esta pesquisa fornece *insights* para a realização de outros estudos com essa nova tecnologia de ozonização, no aumento da vida útil de lichias e de outras frutas e vegetais.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou maior eficiência do gás ozônio para preservação das variáveis de cor da casca nas frutas de lichia, quando comparado com o tratamento por meio aquoso, especialmente quando o ozônio gasoso foi aplicado na concentração de 10 mg L^{-1} . Os efeitos do ozônio gasoso e da névoa ozonizada foram semelhantes para perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, vitamina C e coloração da polpa.

REFERÊNCIAS

ALI, A.; ONG, M. K.; FORNEY, C. F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry**, v. 142, p. 19-26, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.039>.

AN, J.; ZHANG, M.; LU, Q. Changes in some quality indexes in freshcut green asparagus pretreated with aqueous ozone and subsequent modified atmosphere packaging. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 340-344, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.001>.

ANDERSON, J. M.; AITKEN, E. A. B.; DANN, E. K; COATES, L. M. Morphological and molecular diversity of *Colletotrichum* spp. causing pepper spot and anthracnose of lychee (*Litchi chinensis*) in Australia. **Plant Pathology**, v. 62, n. 2, p. 279-288, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02632.x>

BARBOZA, H. T. G.; SOARES, A. G.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS-SILVA, O. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. 1-25 (e9911931418), 2022. <http://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31418>

BECKER, F. S.; VILAS BOAS, A. C.; SALES, A.; TAVARES, L. S.; SIQUEIRA, H. H.; VILAS BOAS, E. V. B. Characterization of ‘Sabará’ Jabuticabas at diferente maturation stages. **Acta Scientiarum**, v. 37, n.4, p. 457-462, 2015. <https://10.4025/actasciagrpn.v37i4.19499>

BELLINI, E.; TULLIO, M. C. Ascorbic Acid and Ozone: Novel Perspectives to Explain an Elusive Relationship. **Plants**, v. 8, n. 122, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8050122>

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018 que estabelece os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e a listagem das frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade já fixados pelo Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento através da IN MAPA nº 49, de 26 de setembro de 2018. **Normas Brasil**. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-37-2018_368178.html>. Acesso em: 18/01/2024.

CIE (2004). CIE technical report. Colorimetry (3rd ed.). 552. Colorimetry (pp. 24–). ISBN 3901-906-33-9. [https://doi.org/ISBN 3 901 906 33 9](https://doi.org/ISBN%203%20901%20906%2033%209).

CHEN, C.; ZHANG, H.; ZHANG, X.; DONG, C.; XUE, W.; XU, W. The effect of diferente doses of ozone treatments on the postharvest quality and biodiversity of cantaloupes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 163, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111124>

CHUMYAM, A.; SHANK, L.; FAIYUE, B.; UTHAIBUTRA, J.; SAENGNI, K. Effects of chlorine dioxide fumigation on redox balancing potential of antioxidative ascorbate-glutathione cycle in ‘Daw’ longan fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 222, p. 76-83, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.022>

CONTIGIANI, E. V.; JARAMILLO-SÁNCHEZ, G.; CASTRO, M. A.; GÓMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Postharvest quality of strawberry fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as affected by ozone washing: fungal spoilage, mechanical properties, and structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1639-1650, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2127-0>

DUBEY, P.; SINGH, A.; YOUSUF, O. Ozonation: an evolving disinfectant technology for the food industry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, p. 2102-2113, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02876-3>

EBIHARA, K.; MITSUGI, F.; IKEGAMI, T.; NAKAMURA, N.; HASHIMOTO, Y.; YAMASHITA, Y.; BABA, S.; STRYCZEWSKA, H. D.; PAWLAT, J.; TEII, S.; SUNG, T. Ozone-mist spray sterilization for pest control in agricultural management. **European Physical Journal Applied Physics**, v. 61, p. 24318/1-5, 2013. <https://doi.org/10.1051/epjap/2012120420>

EBIHARA, K.; MITSUGI, F.; IKEGAMI, T.; YAMASHITA, Y.; HASHIMOTO, Y.; YAMASHITA, T.; KANAZAWA, S.; STRYCZEWSKA, H. D.; PAWLAT, J.; TEII, S.; SUNG, T-L. Sterilization Characteristics of Ozone-mist Spray for Chemical Free Agriculture. **International Journal of Plasma Environmental Science & Technology**, v. 10, n. 1, p. 11-15, 2016. <https://doi.org/10.34343/ijpest.2016.10.01.011>

GARCÍA-MARTÍN, J. F.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of diferente citrus varieties at laboratory and at industrial facility. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 77-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.015>

GOFFI, V.; MODESTI, M.; FORNITI, R.; BOTONDI, R. Quality of green (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* ‘Hayward’) and yellow (*A. chinensis* var. *chinensis* ‘Soreli’) kiwifruit during cold storage at 0°C in normal atmosphere and with gaseous ozone. **Acta Horticulturae**, p. 473-480, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1218.65>

GUPTA, C.; PRAKASH, D. Part 10. Safety of Fresh Fruits and Vegetables. p. 249-283. In: SINGH, R. L.; MONDAL, S. (Editores). **Food Safety and Human Helth**. 2019. 402 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00010-2>

HAN, Q.; GAO, H.; CHEN, H.; FANG, X.; WU, W. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1947-1953, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.152>

HUANG, H.; GUO, L.; WANG, L.; WANG, H.; MA, S.; JIANG, Y.; QU, H. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) slows ripening of kiwifruit and affects energy status, membrane fatty acid contents and cell membrane integrity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 156, p. 1-7 (110941), 2019. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110941>

HUANG, H.; WANG, L.; XIANG, X.; BI, F.; ZHANG, Z. Morphological, chemical, and biosynthetic changes in pericarp waxes in response to the browning of litchi fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 191, p. 1-10 (111968), 2022. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111968>

IAL (2008). 1ª Edição Digital. Métodos Físicos-Químicos Para Análise de Alimentos. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>. Acesso em: 24/02/2023.

INTARASIT, S.; FAIYUE, B.; UTHAIBUTRA, J.; SAENGNIL, K. Amelioration of nitrosative stress to reduce pericarp browning of harvested longan by chlorine dioxide. *Scientia Horticulturae*, v. 293, 110678, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110678>

JARAMILLO-SÁNCHEZ, G.; CONTIGIANI, E. V.; CASTRO, M. A.; HODARA, K.; ALZAMORA, S. M.; LOREDO, A. G.; NIETO, A. B. Freshness maintenance of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during postharvest using ozone in aqueous phase: microbiological, structure, and mechanical issues. *Food and Bioprocess Technology*, v. 12, p. 2136-2147, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02358-z>

JORADOL, A.; UTHAIBUTRA, J.; LITHANATUDOM, P.; SAENGNIL, K. Induced expression of NOX and SOD by gaseous sulfur dioxide and chlorine dioxide enhances antioxidant capacity and maintains fruit quality of 'Daw' longan fruit during storage through H₂O₂ signaling. *Postharvest Biology and Technology*, v. 156, 110938, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110938>

LUCENA, C. C.; SILVA, A. C.; SILVA, A. C.; FEITOSA, H. O.; ALMEIDA, F. F. D.; CONEGLIAN, R. C.; VASCONCELLOS, M. A. S. Efeito da película de amido na conservação pós-colheita de frutos de banana cv. "Nanicão". *Agronomia*, v. 38, n. 02, p. 34-37, 2004.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P.; PESSOA, J. D. C. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 4, p. 704-707, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400027>

MYOZONE. Gerador de ozônio inteligente. **Névoa Ozonizada x Água Ozonizada: Quando e como usar?**. Novembro de 2023. Disponível em: <<https://myozone.com.br/nevoa-ozonizada-x-agua-ozonizada-quando-e-como-usar/>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

NAYAK, S. L.; SETHI, S.; SHARMA, R. R.; SHARMA, R. M.; SINGH, S.; SINGH, D. Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Food Science and Technology*, v. 57, n. 1, p. 319-326, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04063-3>

ONG, M, K.; KAZI, F. K.; FORNEY, C. F.; ALI, A. Effect of gaseous ozone on papaya anthracnose. *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, p. 2996-3005, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1013-4>

ONOPIUK, A.; PÓLTORAK, A.; MOCZKOWSKA, M.; SZPICER, A.; WIERZBICKA, A. The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus ideaus* raspberries. *CyTA Journal of Food*, v. 15, n. 4, p. 563-573, 2017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1317669>

PAIXÃO, M. V. S.; CARVALHO, A. J. C.; MONTEIRO, J. F.; FERNANDES, A. R. Biometria, emergência e desenvolvimento inicial em plântulas de licheira em função das condições ambientais de produção. **Revista Concilium**, v. 22, n. 5, p. 47-56, 2022. <https://doi.org/10.53660/CLM-390-507>

PANDIT, P. S.; SHUKLA, S. P. Effect of ozonized reverse osmosis plant water washing on microbial load of lychee. **Acta Horticulturae**, v.1211, p. 23-28, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1211.4>

PANDISELVAM, R.; SINGH, A.; AGRIOPOULOU, S.; SACHADYN-KRÓL, M.; ASLAM, R.; LIMA, C. M. G.; KHANASHYAM, A. C.; KOTHAKOTA, A.; ATAKAN, O.; KUMAN, M.; MATHANGHI, S. K.; KHANEGHAH, A. M. A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 127, p. 74-86, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.008>

PAREEK, S. Part 17. Nutritional and Biochemical Composition of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Cultivars. p. 395-418. In: SIMMONDS, M. S. J.; PREEDY, V. R. (Editores). **Nutritional Composition of Fruit Cultivars**. 2016. 766 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00017-9>

PASCUAL, A.; LLORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p. S29–S35, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.10.006>

PIECHOWIAK, T.; SKÓRA, B.; BALAWEJDER, M. Ozone treatment induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1240-1245, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02450-9>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; BALAWEJDER, M. Effect of ozonation process on the energy metabolism in raspberry fruit during storage at room temperature. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 483-491, 2021a. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02591-5>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; TARAPATSKYY, M.; BALAWEJDER, M. The role of mitochondrial energy metabolism in shaping the quality of highbush blueberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 1973-1982, 2021b. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02696-x>

PIECHOWIAK, T.; MIGUT, D.; JÓZEFczyk, R.; BALAWEJDER, M. Ozone treatment improves the texture of strawberry fruit during storage. **Antioxidants**, v. 11, n. 5, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.3390/antiox11050821>

PINTO, L.; CAPUTO, L.; QUINTIERI, L.; CANDIA, S.; BARUZZI, F. Efficacy of gaseous ozone to counteract postharvest table grape sour rot. **Food Microbiology**, v. 66, p. 190-198, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.05.001>

QUEIROZ, E. R.; ABREU, C. M. P.; OLIVEIRA, K. S.; RAMOS, V. O.; FRÁGUAS, R. M. Bioactive phytochemicals and antioxidant activity in fresh and dried lychee fractions. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 163-169, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100019>

RAKNESS, K.; GORDON, G.; LANGLAIS, B.; MASSCHELEIN, W.; MATSUMOTO, N.; RICHARD, Y.; ROBSON, C. M.; SOMIYA, I. Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. **Ozone: Science & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 209-229. <https://doi.org/10.1080/01919519608547327>

RASHID, M. T.; BELSCAK-CVITANOVIC, A.; KARACA, S.; MA, H.; KOMES, D. Longan (*Dimocarpus longan*) and lychee (*Litchi chinensis*): Functional ingredients in chocolate pralines. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12811>

RODRIGUES, A. A. Z.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FARONI, L. R. A.; PRATES, L. H. F.; NEVES, A. A.; OLIVEIRA, A. F.; FREITAS, J. F.; HELENO, F. F.; ZAMBOLIM, L. The efficacy of washing strategies in the elimination of fungicide residues and the alterations on the quality of bell peppers. **Food Research International**, v. 147, p. 1-13 (110549), 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110579>

SCHROER, I. A.; SILVA, J.; BROCHIER, B.; SILVA, P. R. S.; SILVA, S. B.; HANSEN, E. Study of ozone misting for sanitization of hospital facilities: A CFD approach. **Ozone: Science & Engineering**, v. 45, n. 3, p. 305-319, 2023. <https://doi.org/10.1080/01919512.2022.2091512>

SIVAKUMAR, D.; ARREBOLA, E.; KORSTEN, L. Postharvest decay control and quality retention in litchi (cv. McLean's Red) by combined application of modified atmosphere packaging and antimicrobial agents. **Crop Protection**, v. 27, n. 8, p. 1208-1214, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.03.002>

SIVAKUMAR, D.; TERRY, L. A.; KORSTEN, L. An Overview on Litchi Fruit Quality and Alternative Postharvest Treatments to Replace Sulfur Dioxide Fumigation. **Food Reviews International**, v. 26, n. 2, p. 162-188, 2010. <https://doi.org/10.1080/87559121003590516>

SOARES, J. M. S.; SILVA, M. S.; NASCIMENTO, F. S.; GONÇALVES, Z. S.; SOUZA, T. R.; RODRIGUES, T. C.; SOUSA, Y. M.; SOUZA, H. B. F. Preferências dos consumidores de banana quanto à qualidade do fruto em Cruz das Almas - BA. **Revista Agrária Acadêmica = Agrarian Academic Journal**, v. 3, n. 6, p. 86-95, 2020. <https://doi.org/10.32406/v3n6/2020/86-95/agrariacad>

SOUZA, L. P.; FARONI, L. R. A.; HELENO, F. F.; CECON, P. R.; GONÇALVES, T. D. C.; SILVA, G. J.; PRATES, L. H. F. Effects of ozone treatment on postharvest carrot quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, p. 53-60, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.057>

TABAKOGLU, N.; KARACA, H. Effects of ozone-enriched storage atmosphere on postharvest quality of black mulberry fruits (*Morus nigra* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 276-281, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.044>

TANG, R.; ZHOU, Y.; CHEN, Z.; WANG, L.; LAI, Y.; CHANG, S. K.; WANG, Y.; QU, H.; JIANG, Y.; HUANG, H. Regulation of browning and senescence of litchi fruit mediated by phenolics and energy status: A postharvest comparison on three different cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, p. 1-9 (111280), 2020. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111280>

TIWARI, B. K.; O'DORNNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1119-1126, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

THWE, A. A.; VERCAMBRE, G.; GAUTIER, H.; GAY, F.; PHATTARALERPHONG, J.; KASEMSAP, P. Effects of acute ozone stress on reproductive traits of tomato, fruit yield and fruit composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 3, p. 614-620, 2015. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6798>

VIEIRA, R. G. L.; SANTOS, B. M. O.; MARTINS, C. H. G. Riscos físicos e químicos em laboratório de análises clínicas. **Medicina**, v. 41, n. 4, p. 508-15, 2008. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v41i4p508-515>

VINHA, A. F.; FERCHAL, C.; SOUSA, C. Cascas de frutas exóticas (*Litchi chinensis* e *Nephelium lappaceum*) valorização e sustentabilidade. **Egitania Scientia**, v. 31, p. 55-73, 2022. <https://doi.org/10.46691/es.v2i31.19>

XI, P.; GUAN, T.; LIU, X.; LI, X.; DOU, Z.; SHI, L.; HUANG, J.; JIANG, L.; SITU, J.; LI, M.; KONG, G.; JIANG, Z. A major facilitator superfamily transporter PIMFS1 contributes to growth, oosporogenesis, and pathogenesis of *Peronophythora litchii*. **Horticultural Plant Journal**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.09.003>

XUE, J.; CHEN, L.; WANG, H. Degradation mechanism of Alizarin Red in hybrid gas–liquid phase dielectric barrier discharge plasmas: Experimental and theoretical examination. **Chemical Engineering Journal**, v. 138, n. 1-3, p. 120-127, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.05.055>

ZHANG, H.; LI, K.; ZHANG, X.; DONG, C.; JI, H.; KE, R.; BAN, Z.; HU, Y.; LIN, S.; CHEN, C. Effects of ozone treatment on the antioxidante capacity of postharvest strawberry. **Royal Society of Chemistry**, v. 10, p. 38142-38157, 2020. <https://doi.org/10.1039/d0ra06448c>

ZHANG, Y.; MASUM, M. M. I.; GAO, C.; CHENG, Y.; GUAN, J. Ozone reduces the fruit decay of postharvest winter jujube by altering the microbial community structure on fruit surface. **Microbiological Research**, v. 262, p. 127110, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127110>

WHANGCHAI, K.; UTHAIBUTRA, J.; PHIYANALINMAT, S.; PENGPHOL, S.; NOMURA, N. Effect of ozone treatment on the reduction of Chlorpyrifos residues in fresh lychee fruits. **Ozone: Science & Engineering**, v. 33, n. 3, p. 231-235, 2011. <https://doi.org/10.1080/01919512.2011.554313>

WU, B.; LI, X.; HU, H.; LIU, A.; CHEN, W. Effect of chlorine dioxide on the control of postharvest diseases and quality of litchi fruit. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 32, p. 6030-6039, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2449>

Capítulo 2: Potencial da névoa ozonizada na desinfecção e manutenção da qualidade físico-química de morangos

Resumo: Este trabalho teve como objetivo, investigar o potencial da névoa ozonizada na desinfecção e manutenção da qualidade físico-química de morangos. Os experimentos foram conduzidos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os tempos de armazenamento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O ensaio foi composto por seis tratamentos: um controle, que correspondeu a frutos não tratados, quatro tratamentos com névoa ozonizada e um tratamento com água ozonizada. Nos tratamentos de névoa ozonizada, adotou-se as concentrações de entrada de 20 mg L⁻¹ e 40 mg L⁻¹ de ozônio (O₃) nos tempos de exposição de 5 min e 10 min. Para o tratamento de água ozonizada utilizou-se a concentração de 3,32 mg L⁻¹ com imersão dos frutos por 5 min. As análises de qualidade foram realizadas imediatamente após a ozonização no dia 0 e depois de 3, 6 e 9 dias de armazenamento e as análises microbiológicas ocorreram nos dias 0, 3 e 6. Como parâmetros de qualidade analisou-se o percentual de perda de massa, firmeza, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C e cor. Os morangos foram armazenados em ambiente refrigerado sob temperatura de 5 °C e umidade relativa de 87%. A névoa ozonizada foi mais eficiente do que a água ozonizada para preservar a aparência externa e prolongar o tempo de prateleira dos morangos, especialmente na concentração de 20 mg L⁻¹. Independente da concentração e tempo de exposição, a névoa ozonizada foi mais eficiente do que a água ozonizada para redução de mesófilos aeróbios. O uso da névoa ozonizada na concentração de 20 mg L⁻¹ durante 5 min, foi o tratamento mais eficiente para reduzir a incidência de fungos filamentosos e leveduras. Os tratamentos de névoa ozonizada contendo 20 mg L⁻¹ foram mais eficientes do que os de 40 mg L⁻¹, para preservar a vitamina C dos morangos.

Palavras-chave: Rosaceae; *Fragaria ananassa* Duch.; Sanitização com ozônio; Armazenamento de frutas.

Abstract: This study aimed to investigate the potential of ozonated mist for microbiological disinfection and maintenance of the physicochemical quality of strawberries. The experiment followed a split-plot design, in which the plots represented the treatments, and the subplots corresponded to the storage times. The study used a completely randomized design (CRI) with three replications. The trial comprised six treatments: one control which corresponded to untreated fruits, four with ozonated mist, one with ozone water. In the mist treatments, ozone was input at 20 and 40 mg L⁻¹ for exposures of 5 and 10 min. The ozone-water treatments used a concentration of 3.32 mg L⁻¹, and the fruits were immersed for 5 min. Quality analyses were done immediately after ozonation (day 0) and on days 3, 6, and 9 of storage. The microbiological analyses were performed on storage days 0, 3, and 6. The quality parameters appraised were percentage of mass loss, firmness, soluble solids content, pH, total titratable acidity, vitamin C, and color. The strawberries were stored in a refrigerated environment 5 °C and 87% relative humidity. Ozonated mist proved more effective than ozonated water in preserving the external appearance of strawberries and prolonging their shelf life, remarkably at 20 mg L⁻¹. The effectiveness of ozonated mist in decreasing the aerobic mesophilic count surpassed that of ozonated water, regardless of the concentration and duration of exposure. Ozonated mist at 20 mg L⁻¹ for 5 min proved the most efficient treatment to reduce the incidence of yeasts and filamentous fungi. Ozonated mist at 20 mg L⁻¹ was also more efficient in maintaining the vitamin C levels of strawberries than the concentration of 40 mg L⁻¹.

Keywords: Rosaceae; *Fragaria ananassa* Duch.; Ozone sanitization; Fruit storage.

1. INTRODUÇÃO

O morango (*Fragaria ananassa* Duch.) é um pseudofruto da família Rosaceae, de amadurecimento não climatérico (MARYAM et al., 2020). Os frutos verdadeiros são os aquênios, pequenos pontos amarelados na parte externa. De aparência atraente e sabor agradável, os frutos são poucos calóricos, ricos em nutrientes, minerais e compostos bioativos benéficos para a saúde humana, como antioxidantes, fenóis e flavonoides (ALEXANDRE et al., 2012; TULIPANI et al., 2014; FORBES-HERNANDEZ et al., 2016; LOZOWICKA et al., 2016; ONOPIUK et al., 2017a). Essas características tornam o morango uma das culturas mais desejadas e consumidas no mundo (TULIPANI et al., 2014).

O consumo frequente na forma *in natura* auxilia na prevenção de doenças cardiovasculares e neurológicas, obesidade, diabetes tipo 2, câncer e reumatismo, além de reduzir a suscetibilidade a infecções e possuir efeito diurético (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2011; BASU et al., 2014; FORBES-HERNANDEZ et al., 2016). Os frutos também são amplamente utilizados pelas indústrias na fabricação de cosméticos, medicações e alimentos como geléias, balas, sucos, sorvetes e principalmente iogurtes (KROLOW, 2012; ZHOU et al., 2018). Estima-se que cerca de 70 a 80% dos iogurtes consumidos no Brasil, utilizam o morango como ingrediente (BOLINI; MORAES, 2004).

Entretanto, os morangos são muito frágeis por não apresentarem cobertura protetora, o que expõe os frutos a danos mecânicos e incidência de microrganismos patogênicos e deteriorantes durante o cultivo (LOZOWICKA et al., 2016; HAJJI et al., 2018; PETRASCH et al., 2019). Esse problema resulta em perdas de valor comercial e riscos à saúde humana relacionada a surtos alimentares que são ocasionados principalmente pelos vírus HAV (hepatite A) e Norovírus, pelo protozoário *Cyclospora cayatanensis* e pelas bactérias *Campylobacter* e *Staphylococcus aureus* (SIVAPALASINGAM et al., 2004; LOZOWICKA et al., 2016). Somado a esses fatores, os morangos possuem uma alta taxa respiratória e muitas vezes são armazenados em condições inadequadas, aumentando sua perecibilidade e restringindo seu tempo de armazenamento a prazos de 5 a 7 dias, mesmo sob refrigeração (ZHANG et al., 2011; ALVES et al., 2019). Esses problemas resultam em perdas na fase de pós-colheita, que podem variar de 25 a 50% (TURQUETT et al., 2021).

A segurança dos alimentos é considerada a questão mais importante para o grupo das pequenas frutas (morango, amora, framboesa e mirtilo) e hortaliças folhosas (BOUWKNEGT et al., 2015; Li et al., 2015). Isso levou a um maior esforço das indústrias na busca por tratamentos pós-colheita que aumentem a vida útil do morango e preservem ao mesmo tempo

sua qualidade (CONTIGIANI et al., 2018). Os compostos clorados são os sanitizantes mais utilizados devido à abundância e baixo custo de aquisição (KHADRE et al., 2001; MORAIS et al., 2015; FERREIRA et al., 2017; ALVES et al., 2019; BASTOS et al., 2019). Contudo, o uso de produtos à base de cloro, tem sido cada vez menos atrativo, despertando o interesse por tecnologias mais sustentáveis. Isso ocorre em função da toxicidade proveniente dos subprodutos da cloração como os compostos organoclorados, trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (HAAs), que são considerados mutagênicos e cancerígenos aos consumidores (PASCUAL et al., 2007).

O ozônio tem sido uma alternativa eficiente para substituição dos compostos clorados na pós-colheita de morangos. Seu potencial oxidativo é 1,5 vezes maior do que o cloro, permitindo um controle mais amplo de microrganismos na superfície dos frutos (ZHU, 2018). A ozonização também é considerada uma tecnologia limpa, tendo em vista que, o subproduto de sua decomposição é o oxigênio e assim, não deixa resíduos nos produtos (ASLAM et al., 2019; PANDISELVAM et al., 2022; ZHANG et al., 2022). Isto confere ao ozônio a classificação de um *GRAS* (*Generally Recognized as Safe*), pelo *United States Department of Agriculture* (USDA) (ZHOU et al., 2018; ALVES et al., 2019).

Os efeitos do ozônio na forma gasosa e aquosa (imersão em água ozonizada) para sanitização de morangos foram analisados em diferentes estudos realizados nas últimas duas décadas, com maior foco na preservação de características físico-químicas e descontaminação microbiológica. Entre os microrganismos mais estudados estão o fungo *Botrytis cinerea* causador do mofo cinzento (NADAS et al., 2003; ADAY et al., 2014; CHILOSI et al., 2015; CONTIGIANI et al., 2018; CONTIGIANI et al., 2020) e as bactérias *Escherichia coli* e *Salmonella enterica* (BIALKA; DEMIRCI, 2007; FERREIRA et al., 2017; ZHOU et al., 2018; BASTOS et al., 2019), além de mesófilos aeróbios e bolores e leveduras (PONCE et al., 2010; ALEXANDRE et al., 2011; ALVES et al., 2019; MARYAM et al., 2020). Os resultados desses trabalhos despertam o interesse por estratégias de ozonização que ainda não foram estudadas na sanitização de frutas ou hortaliças, dentre elas o uso da névoa ozonizada.

A névoa ozonizada foi uma técnica muito utilizada durante o pandemia mundial de Covid-19 para eliminação do vírus SARS-CoV-2 na desinfecção de superfícies e ambientes (SCHROER et al., 2023). Sua eficiência também já foi constatada no controle de pulgões e para proteção de plantas contra doenças em cultivos orgânicos (EBIHARA et al., 2013; EBIHARA et al., 2016). Essa técnica consiste na aplicação de gotículas de água ozonizada, gerada por um umidificador ultrassônico integrado a um gerador de ozônio, que juntos desencadeiam a reação química entre o ozônio e a água (MYOZONE, 2023; EBIHARA et al.,

2016). A aplicação de névoa ozonizada na pós-colheita de morangos ainda não foi estudada. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o potencial da névoa ozonizada na desinfecção e manutenção da qualidade físico-química de frutos destinados ao consumo *in natura*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos frutos e caracterização inicial

Os morangos foram adquiridos de um produtor familiar da cidade de Coimbra-MG, Brasil. Utilizou-se frutos cultivar ‘Albion’, isentos de tratamento pós-colheita anterior. Os frutos foram colhidos em ponto de maturação comercial, em estágio vermelho três quartos $\frac{3}{4}$ (superfície 75% vermelho) (ROSA et al., 2018). Após a colheita, os frutos foram transferidos no mesmo dia até o laboratório de pós-colheita (DEA-UFV) na cidade de Viçosa-MG, Brasil, em caixas de papelão e protegidos do sol. Os morangos utilizados no experimento foram selecionados de acordo com a uniformidade da cor externa, descartando-se frutos com lesões.

Ao chegarem ao local, os morangos foram aferidos para caracterização físico-química inicial, apresentando valores médios de 2,50 N para a firmeza, 6,47 °Brix para o teor sólidos solúveis totais, 3,15 para o pH, 1,91 % de ácido cítrico para a acidez total titulável, 29,06 mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa para a vitamina C, 35,36 h* para a tonalidade da polpa e 18,46 C* para a saturação da polpa.

2.2 Condições de tratamento com ozônio

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (névoa ozonizada, água ozonizada e controle) e nas subparcelas os tempos de armazenamento (0, 3, 6 e 9 dias), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O ensaio experimental foi composto por seis tratamentos: um controle, que correspondeu a frutos não tratados (T1), quatro tratamentos com névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5) e um tratamento com água ozonizada, empregado para fins comparativos (T6). Nos tratamentos de névoa ozonizada, adotou-se as concentrações de entrada de 20 mg L⁻¹ (T2 e T3) e 40 mg L⁻¹ (T4 e T5) de ozônio (O₃) nos tempos de exposição de 5 min (T2 e T4) e 10 min (T3 e T5). Para o tratamento de água ozonizada (T6) utilizou-se a concentração de 3,32 mg L⁻¹ com imersão dos frutos por 5 min.

O gás ozônio (O₃) foi obtido através de um gerador de O₃, modelo M10® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brazil) com capacidade de produção de 10 g h⁻¹, produzido por efeito corona (descarga de barreira dielétrica-DBD) a 25 °C. Para alimentar o gerador de ozônio utilizou-se oxigênio (90% de pureza), na vazão volumétrica de 1,5 L min⁻¹, produzido a partir de um concentrador de oxigênio, modelo EverFlo™ OPI 5LPM (Philips Respironics Inc.,

México). A vazão volumétrica foi aferida por um medidor de vazão modelo MF5700® (Siargo Ltd, Chengdu, Sichuan, China).

As concentrações de entrada do gás ozônio para névoa ozonizada e água ozonizada, foram quantificadas pelo método iodométrico de titulação indireta, em consonância com a International Ozone Association (RAKNESS et al., 1996). Neste procedimento, o gás ozônio foi borbulhado por 15 segundos em 50 mL de solução de iodeto de potássio (KI 2%) em um erlenmeyer de 125,0 mL, logo após acrescentou-se 2,5 ml de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e titulou-se com solução padronizada de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ até atingir tom amarelo claro, posteriormente adicionou-se 1 mL de solução de Amido ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) 1% e titulou-se novamente com tiosulfato até atingir ponto de viragem.

Para o tratamento com a névoa ozonizada, adotou-se as concentrações de entrada de 20 e 40 mg L^{-1} de O_3 , em dois tempos de exposição (5 e 10 min). A névoa ozonizada foi direcionada através de uma coifa metálica (Figura 1). Os morangos foram dispostos sobre uma tela metálica distando 0,30 m do ponto de emissão da névoa ozonizada (Figura 1). A produção da névoa ocorreu por meio de um gerador de névoa modelo N10® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brazil). A névoa ozonizada foi conduzida do gerador até a coifa de metal através de uma mangueira de poliuretano transparente, reforçada com aço cobreado (Figura 1). Após a ozonização, os morangos foram dispostos sobre uma mesa higienizada para secagem em temperatura ambiente por 30 min, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

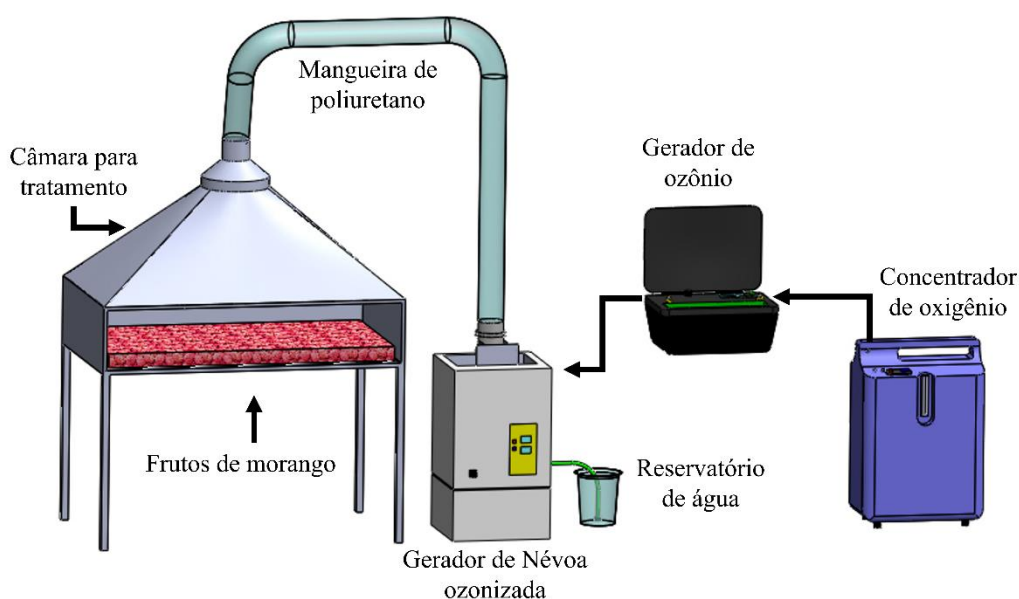


Figura 1. Esquema experimental adotado, para aplicação de névoa ozonizada.

Para imersão dos morangos em água ozonizada utilizou-se um tanque com 15 litros de água (Figura 2). Para incorporação do ozônio na água utilizou-se um gerador de microbolha modelo MB600® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brasil). O gerador de microbolha era composto por uma bomba interligada a um vaso de pressão. Na admissão da bomba havia um injetor do tipo tubo de venturi que permitia a injeção de gás ozônio e oxigênio no sistema. A mistura de ozônio, oxigênio e água era então direcionada para o vaso de pressão onde a pressão interna era controlada por uma válvula (V1) que restringia a passagem da água até atingir a pressão de trabalho igual a 8,43 kgf cm⁻². Nesta pressão de trabalho, a vazão volumétrica de circulação da água era de 0,12 m³ h⁻¹. No vaso de pressão, as bolhas de gás formadas na injeção pelo tubo de venturi eram fracionadas para a formação das microbolhas. Para evitar acúmulo de gás (ozônio e oxigênio) no vaso de pressão uma válvula (V2) permitia a passagem do excesso de ozônio e oxigênio que não era incorporado na água. O recalque da bomba era direcionado ao tanque onde foi realizada a imersão dos morangos.

A concentração de entrada do gás ozônio na água foi fixada em 10 mg L⁻¹, que permitiu a obtenção de 3,32 mg L⁻¹ de ozônio dissolvido em água após 15 min de injeção. Para quantificação do ozônio dissolvido na água, realizou-se uma adaptação ao método iodométrico, adicionando-se 50 mL de água ozonizada ao erlenmeyer contendo as soluções de iodeto de potássio (KI 2%) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) e o processo de titulação foi realizado da mesma forma.

Os morangos foram imersos por 5 min em água ozonizada e refrigerada a temperatura de 0 °C, em sistema de microbolha (Figura 2). A imersão foi feita com auxílio de um suporte perfurado dentro de um tanque de plástico quadrado modelo myozone® (Jaguariúna, São Paulo, Brazil) com capacidade para 30 L (53,0 cm comprimento x 19,5 cm largura x 26,5 cm altura) (Figura 2). Após a ozonização, os morangos foram dispostos sobre uma mesa higienizada para secagem em temperatura ambiente por 30 min a 25 °C.

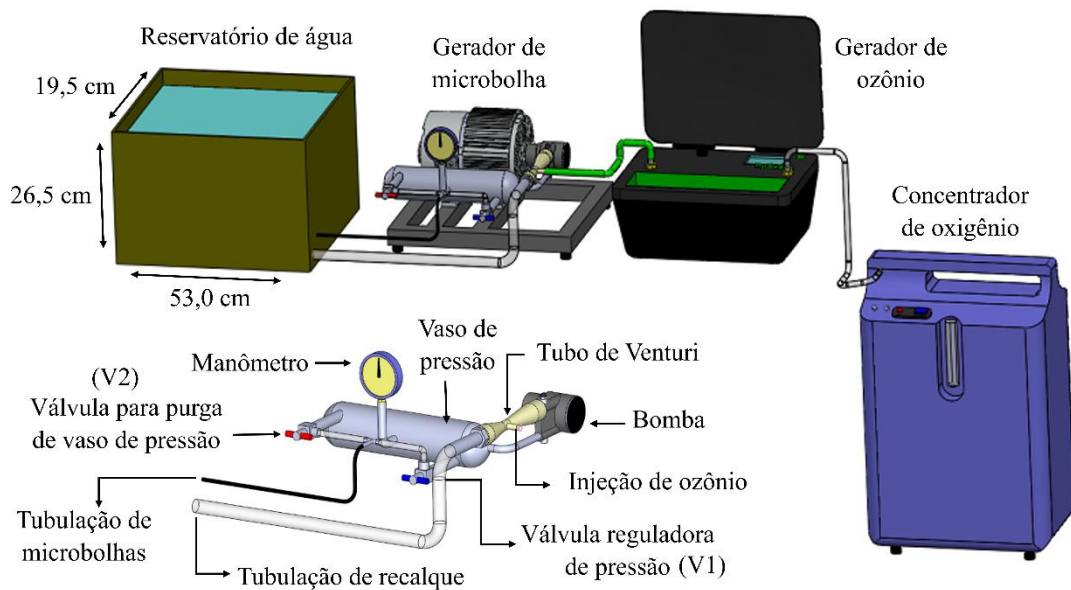


Figura 2. Esquema experimental adotado para ozonização da água, com incorporação de ozônio a partir de um gerador de microbolha.

2.3 Armazenamento dos morangos após a ozonização

Amostras de morango tratadas com névoa ozonizada, água ozonizada e amostras controle foram acondicionadas em bandejas retangulares de poliestireno (21,5 cm x 14,5 cm), vedadas com filme PVC (Policloreto de Vinila) e identificadas conforme o tratamento. Em cada bandeja acondicionou-se 150 ± 10 gramas de morango. Cada bandeja correspondeu a uma unidade amostral. Os morangos foram armazenados em ambiente refrigerado sob temperatura de 5 °C e umidade relativa de 87%. As análises de qualidade referentes à perda de massa, firmeza, sólidos solúveis, pH, acidez total titulável e cor, foram realizadas imediatamente após a ozonização no dia 0 e depois de 3, 6 e 9 dias de armazenamento. A vitamina C foi avaliada nos dias 0 e 9, início e fim do armazenamento. As análises microbiológicas ocorreram nos dias 0, 3 e 6.

2.4 Análise microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas em câmara de fluxo laminar vertical modelo PCR FLV-1266/4 (Filterflux, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Em cada parcela foram retirados 10 g de morango na parte superficial das frutas. Os fragmentos de morango foram

transferidos para sacos plásticos esterilizados, em seguida macerados e diluídos em 90 mL de solução salina a 2% (diluição 10^{-1}), previamente esterilizada para obtenção das diluições seriadas. Para mesófilos aeróbios, considerou-se as diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} e para fungos filamentosos e leveduras, 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} .

No plaqueamento dos mesófilos, utilizou-se o método de inoculação em profundidade (*Pour-Plate*). Alíquotas de 1 mL foram pipetadas em placa de petri e em seguida adicionado meio de cultura líquido (*Plate Count Agar-PCA*). Para o plaqueamento de fungos e leveduras, foi utilizado o método de espalhamento em placa (*Spread-Plate*). Alíquotas de 0,1 mL (100 microlitros, μ l) foram pipetadas em meio de cultura sólido (*Potato Dextrose Agar-PDA*) acidificado com ácido tartárico 10% e posteriormente, o material foi espalhado com alça de drigalski.

A incubação das placas ocorreu em câmaras, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). As placas foram incubadas por 48 h (2 dias) a 30 °C para contagem de mesófilos aeróbios e por 120 h (5 dias) a 25 °C para contagem dos fungos filamentosos e leveduras. Ao final da incubação, realizava-se a contagem dos microrganismos e os resultados foram expressos em log UFC g⁻¹. Considerou-se na contagem, placas contendo de 25 a 250 colônias para mesófilos aeróbios e de 15 a 150 colônias para fungos filamentosos e leveduras. Os critérios adotados nas análises microbiológicas seguem a Instrução Normativa número 62, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003).

2.5 Análises de qualidade

O processamento das amostras para análises do teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C e cor, foi feito por meio de um Mixer-processador de alimentos modelo RI1341 (Philips Walita, China). As análises de firmeza, pH, acidez total titulável e vitamina C foram feitas em triplicata e as de sólidos solúveis e cor, em quadruplicata. Os métodos utilizados para as análises físico-químicas seguem os critérios descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e Commission International de L'Eclairage (CIE, 2004).

2.5.1 Perda de massa fresca (%)

O cálculo da perda de massa fresca foi feito tendo como base a diferença entre a massa inicial de cada amostra no início do experimento (dia 0) e aos 3, 6 e 9 dias de armazenamento. Os resultados de perda de massa foram expressos em porcentagem (%) (Equação 1).

$$WLt(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

O percentual de perda de massa é representado por WLt(%). O valor de W_0 corresponde a massa inicial no dia 0 e o valor de W_t refere-se à massa da amostra no dia avaliado. A pesagem das amostras foi realizada em balança semi analítica digital com precisão de 1×10^{-2} modelo BK 8000 (Gehaka, São Paulo, Brasil).

2.5.2 Firmeza (Newton)

Para determinação da firmeza, três morangos de cada parcela foram perfurados nas direções transversal, longitudinal (próximo a base) e diagonal, utilizando-se uma ponta de penetrômetro de 3 mm. A força empregada para perfuração foi expressa em Newtons (N) e os valores de firmeza obtidos através do penetrômetro digital modelo PTR 300 Fruit Hardness Tester (Instrutherm, São Paulo, Brasil).

2.5.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis foi quantificado por refratômetro digital modelo Poket Refractometer PAL-3 (Atago, Tóquio, Japão) e os valores expressos em °Brix, realizando-se quatro leituras por parcela. Em cada leitura, uma gota de polpa triturada era utilizada para quantificação do °Brix.

2.5.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado em solução contendo 10 g de polpa triturada e 100 mL de água destilada, através de um pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil).

2.5.5 Acidez total titulável (ácido cítrico)

Os resultados da acidez total titulável foram expressos em % de ácido cítrico em 100 g de polpa. Essa análise foi feita pelo método da potenciometria, titulando-se hidróxido de sódio

(NaOH 0,1) em solução contendo 10 g de polpa triturada e 100 mL de água destilada até o pH da solução atingir 8,2. As leituras foram realizadas com pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil). A acidez total titulável foi calculada a partir do volume de hidróxido de sódio gasto na titulação (Equação 2).

$$\text{Ácido cítrico (\% percentagem por 100g)} = \frac{V \times f \times 10}{m} \quad (2)$$

O volume gasto na titulação é representado pela letra V, o fator de correção da solução de hidróxido de sódio pela letra f e a massa da amostra (g) pela letra m.

2.5.6 Vitamina C (ácido ascórbico)

A análise de vitamina C foi realizada pelo método da titulação com iodato de potássio 0,002 M e o teor de ácido ascórbico calculado a partir do volume (mL) gasto na titulação. O iodato de potássio com fator estequiométrico de 0,8806 era titulado em solução contendo 10 g de polpa triturada, 50 mL de água destilada, 10 mL de ácido sulfúrico 20%, 1 mL de iodeto de potássio 10% e 1 mL amido 1% até a solução atingir coloração marrom-violácea. O ponto de viragem foi determinado pelo indicador de amido. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa (Equação 3).

$$\text{Ácido ascórbico (mg 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{100 \times V \times f}{m} \quad (3)$$

A letra V representa o volume (mL) de iodato de potássio gasto na titulação, a letra f o fator estequiométrico da solução e a letra m a massa da amostra (g).

2.5.7 Cor da polpa

A polpa processada era vertida em embalagens de plástico transparente para leituras de cor. Em cada lado da embalagem realizava-se duas leituras, totalizando quatro. Nessa análise, todos os morangos da parcela experimental foram considerados. As coordenadas L*, a* e b* do sistema Hunter foram obtidas por colorímetro digital modelo CR-400 (Konica Minolta,

Tóquio, Japão). As coordenadas permitiram realizar os cálculos de diferença de cor (ΔE^*) (Equação 4), tonalidade (h^*) (Equação 5) e croma (C^*) (Equação 6).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (4)$$

$$h^* = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

Em que: L^* = mensurável em termos de intensidade branco a preto; a^* = mensurável em termos de intensidade vermelho e verde; b^* = mensurável em termos de intensidade amarelo e azul; a_0 , b_0 e L_0 correspondem a coordenadas obtidas no tempo 0. A diferença de cor (ΔE^*), do dia 0 foi calculada em relação aos valores médios de L^* , a^* e b^* , obtidos na caracterização inicial.

2.6 Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e regressão. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o software Sisvar 5.6. Para comparação do controle com os demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnet a 5% de probabilidade, por meio do programa Assistat 7.7. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't' de Student a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($r^2 = \frac{SQ_{Reg}}{SQ_{Trat}}$) e no comportamento do fenômeno em estudo, através do software SigmaPlot 12.0. Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo.

3. RESULTADOS

3.1 Aparência externa dos morangos ao longo do armazenamento

A água ozonizada (T6) ocasionou maiores alterações na parte externa dos frutos, em comparação com a névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5) (Figura 3). Visualmente, os morangos imersos em água ozonizada (T6) apresentaram uma maior descoloração do receptáculo floral (parte comestível) e ressecamento das sépalas. Aos 9 dias de armazenamento, morangos expostos a névoa ozonizada na concentração de 20 mg L⁻¹, por 5 e 10 min (T2 e T3), ainda encontravam-se em condições de comercialização, ao contrário das amostras controle (T1), água ozonizada (T6) e dos tratamentos de 40 mg L⁻¹, por 5 e 10 min de névoa ozonizada (T4 e T5). O uso de 40 mg L⁻¹ de névoa ozonizada (T4 e T5), resultou em maiores alterações externas quando comparada a concentração de 20 mg L⁻¹ (T2 e T3), independente do tempo de exposição empregado, embora as alterações tenham sido menos pronunciadas do que na água ozonizada (T6).

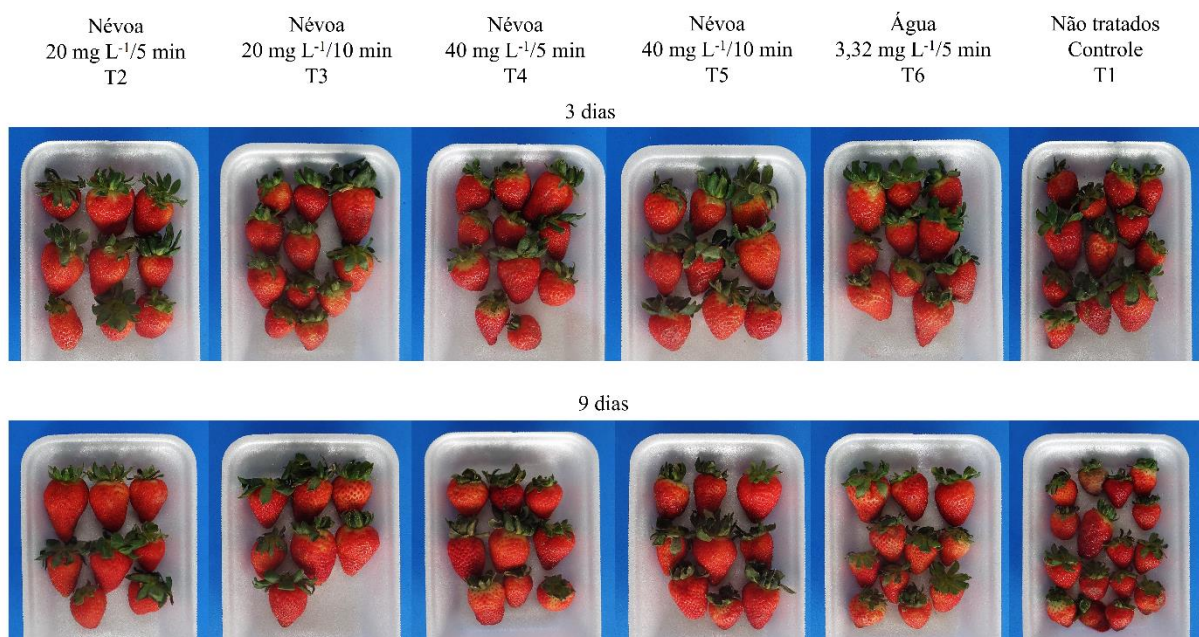


Figura 3. Aparência dos morangos com 3 e 9 dias de armazenamento.

3.2 Desinfecção dos morangos

No primeiro dia avaliativo (tempo 0), todos os tratamentos analisados (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) apresentaram valores próximos de 4,00 log UFC g⁻¹ para mesófilos aeróbios (Tabela 1). A partir do terceiro dia de armazenamento, a névoa ozonizada, em ambas as concentrações e tempos de exposição empregados (T2, T3, T4 e T5), proporcionou uma maior redução da contagem de mesófilos, em comparação com a água ozonizada (T6) e o controle (T1). Vale ressaltar, que tanto a água ozonizada (T6) como a névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5) foram eficientes para redução de mesófilos, em relação aos frutos não ozonizados (T1). No terceiro e sexto dia de armazenamento, o maior incremento na contagem de mesófilos foi observado no controle (T1), não sendo possível a sua quantificação pela técnica adotada. Esse comportamento por sua vez, não aconteceu nos tratamentos com ozônio (T2, T3, T4, T5 e T6).

A menor incidência de fungos filamentosos e leveduras foi obtida com o uso da névoa ozonizada na concentração de 20 mg L⁻¹ por 5 min (T2), com reduções de 1,58 e 2,06 log UFC g⁻¹ em comparação ao controle (T1), observadas no terceiro e sexto dia do armazenamento, respectivamente. A contagem de fungos filamentosos e leveduras deste tratamento (20 mg L⁻¹ por 5 min/T2) e da água ozonizada (T6) referentes ao dia 0, foi inferior a 2,00 log UFC g⁻¹. Entretanto, ao longo do armazenamento, essa tendência se diferenciou e os valores registrados na contagem de fungos filamentosos e leveduras para a água ozonizada (T6), especialmente no sexto dia do armazenamento, foram superiores aos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5). Ao analisar os tratamentos contendo ozônio (T2, T3, T4, T5 e T6), verifica-se que a presença desse sanitizante, independente da forma de aplicação (água ou névoa), reduziu a presença de fungos filamentosos e leveduras em comparação ao controle (T1).

Tabela 1. Valores médios obtidos para mesófilos aeróbios e fungos filamentosos e leveduras em morangos ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Tratamento	Mesófilos aeróbios log (UFC g ⁻¹)			Fungos filamentosos e leveduras log (UFC g ⁻¹)			
	Armazenamento (dias)			Armazenamento (dias)			
	0	3	6	0	3	6	
T1	4,10	Inc.	Inc.	T1	5,71	7,36	7,65
T2	4,37	3,55	4,99	T2	< 2,0 log	5,78	5,59
T3	4,90	4,10	4,13	T3	5,49	6,21	6,05
T4	4,44	4,92	3,75	T4	6,58	6,04	5,83
T5	3,85	3,86	4,00	T5	5,88	6,79	6,10
T6	4,05	5,26	5,41	T6	< 2,0 log	6,60	6,32

Tratamentos: T1-Controle; T2-Névoa 20 mg L⁻¹/5 min; T3-Névoa 20 mg L⁻¹/10 min; T4-Névoa 40 mg L⁻¹/5 min; T5-Névoa 40 mg L⁻¹/10 min; T6-Água 3,32 mg L⁻¹/5 min. Inc.: Incontável, acima do limite.

3.3 Qualidade pós-colheita

3.3.1 Perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, vitamina C, diferença de cor, tonalidade de cor e saturação de cor

A Tabela 2 apresenta os valores médios da perda de massa fresca (%), firmeza (N), sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%), diferença de cor (Dif*), tonalidade de cor (h*) e saturação de cor (C*) de morangos tratados com névoa ozonizada e água ozonizada. Houve efeito significativo ($P < 0,05$) dos tratamentos sobre o percentual de perda de massa fresca (%). Foram observados efeitos significativos entre os tratamentos, somente no terceiro e sexto dia do armazenamento. Nestes dois tempos de armazenamento, o tratamento de água ozonizada (T6) retornou os maiores percentuais de perda de massa fresca (0,92 e 2,36%). Em comparação ao controle (T1), efeitos significativos ($P < 0,05$) foram encontrados apenas no terceiro dia do armazenamento, com diferenças observadas no tratamento de 20 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada (T2), que apresentou o menor percentual de perda de massa fresca (0,64%).

Inicialmente, a perda de massa fresca foi abaixo de 1% para todos os tratamentos analisados, com os menores percentuais registrados nos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5). No sexto dia do armazenamento, os percentuais da perda de massa fresca nos tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5) também foram os mais baixos. Ao final do armazenamento (dia 9), o percentual médio da perda de massa fresca foi próximo de 2,50% para todos os tratamentos, com e sem ozônio (T1, T2, T3, T4, T5 e T6).

Em relação a firmeza e ao teor de sólidos solúveis totais, não foram observados efeitos significativos ($P > 0,05$) entre os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5 e T6), ou em relação ao controle (T1), para nenhum dos dias avaliativos. A firmeza variou de 2,00 a 2,60 N em morangos ozonizados (T2, T3, T4, T5 e T6) até o terceiro dia do armazenamento. Entre o sexto e nono dia do armazenamento, os valores da força de compressão estiveram na faixa de 1,20 a 1,94 N. Até o sexto dia do armazenamento, o teor de sólidos solúveis totais de todos os tratamentos (com e sem ozônio) foi próximo de 6,00 °Brix (T1, T2, T3, T4, T5 e T6). No nono dia do armazenamento, constatou-se um pequeno decréscimo no teor de sólidos solúveis, com variações de 5,43 a 5,70 °Brix. Essas reduções também foram observadas nas amostras controle (T1), não estando relacionadas neste caso, a presença de ozônio.

Para o potencial hidrogeniônico e acidez total titulável foram observados efeitos significativos dos tratamentos ($P < 0,05$) somente no tempo 0. As maiores médias obtidas para o pH e acidez total titulável no tempo 0, foram encontradas nos tratamentos de 40 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada (T4=3,50) e nas amostras controle (T1=1,91%), respectivamente. Em comparação ao controle (T1), efeitos significativos ($P < 0,05$) também foram observados no tempo 0. Logo após a ozonização dos morangos (dia 0), os frutos apresentaram pH e acidez total titulável próximos de 3,50 e 1,70%, menos ácidos e com menor teor de ácido cítrico, em relação as amostras controle (T1), que apresentaram os valores de 3,15 e 1,91% para pH e acidez total titulável, respectivamente. Após o dia 0, constatou-se um decréscimo nos valores de pH que se estendeu até o final do armazenamento. A acidez total titulável de todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) manteve-se próxima de 1,70% a partir do terceiro dia e os valores de pH próximos de 3,15 no terceiro dia e de 2,70 entre o sexto e o nono dia do armazenamento.

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) dos tratamentos sobre as três variáveis de cor. Para a diferença de cor, foram observados efeitos significativos somente no tempo 0 e aos nove dias do armazenamento e para a tonalidade de cor e saturação de cor, os efeitos ocorreram apenas no tempo 0. Tanto no início (dia 0) como no fim do armazenamento (dia 9), o tratamento de 40 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada (T4), apresentou os maiores valores médios para a diferença de cor (T4=4,60 e 6,33 Dif*). Este tratamento também retornou a maior média para a saturação de cor no tempo 0 (T4=22,54 C*). Quanto a tonalidade de cor, os tratamentos contendo 20 mg L⁻¹ em seus dois tempos de exposição (5 e 10 min/T2 e T3), apresentaram no tempo 0, os maiores valores médios para o ângulo Hue (T2=42,20 e T3=41,44 h*).

Ao se comparar todos os tratamentos (T2, T3, T4, T5 e T6) com o controle (T1), observou-se efeitos significativos ($P < 0,05$) para as três variáveis, somente aos 0 e 9 dias do armazenamento. Na presença de ozônio seja na forma de névoa ou água (T2, T3, T4, T5 e T6), os morangos apresentaram maiores diferenças de cor e tonalidade em relação ao controle (T1), imediatamente após a ozonização (dia 0). Uma maior saturação também foi observada no tempo 0 em comparação ao controle (T1), em frutos submetidos a água ozonizada (T6=20,48 C*) e aos tratamentos de 40 mg L⁻¹ por 5 e 10 min de névoa ozonizada (T4=22,54 e T5=20,58 C*).

No nono dia do armazenamento, observou-se que para a variável diferença de cor, apenas o tratamento de 40 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada (T4) se diferenciou do controle (T1). A medida que se aumentou o tempo de exposição de 5 min (T4) para 10 min (T5) para essa concentração de névoa ozonizada (40 mg L⁻¹), maiores foram os valores da tonalidade de cor. Contudo, as diferenças observadas em relação ao controle (T1) aos 9 dias do armazenamento, ocorreram apenas quando se utilizou 10 min de exposição (T5). Para este tempo de armazenamento (dia 9), morangos imersos em água ozonizada apresentaram-se mais saturados (T6=18,88 C*), em relação ao controle (T1).

Tabela 2. Valores médios da perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, diferença de cor, tonalidade de cor e saturação de cor, para as respectivas combinações de tratamentos e tempos de armazenamento, em morangos tratados com névoa ozonizada e água ozonizada.

Perda de massa fresca (%)					Firmeza (N)				
Tratamento	Armazenamento (dias)				Tratamento	Armazenamento (dias)			
	0	3	6	9		0	3	6	9
T1	-	0,91 a	2,08 a	2,63 a	T1	2,50 a	2,61 a	1,21 a	1,38 a
T2	-	0,64 b*	1,51 b	2,47 a	T2	2,17 a	2,42 a	1,61 a	1,71 a
T3	-	0,79 ab	1,59 ab	2,59 a	T3	2,47 a	2,34 a	1,63 a	1,94 a
T4	-	0,87 ab	1,59 ab	2,35 a	T4	2,50 a	2,11 a	1,17 a	1,79 a
T5	-	0,77 ab	1,90 ab	2,51 a	T5	2,26 a	2,00 a	1,20 a	1,78 a
T6	-	0,92 a	2,36 a	2,53 a	T6	2,60 a	2,34 a	1,53 a	1,46 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)					Potencial Hidrogeniônico (pH)				
Tratamento	6,47 a	6,07 a	6,20 a	5,70 a	Tratamento	3,15 b	3,17 a	2,67 a	2,67 a
T2	6,10 a	6,37 a	6,20 a	5,70 a	T2	3,47 a*	3,25 a	2,73 a	2,62 a
T3	6,40 a	6,47 a	5,87 a	5,50 a	T3	3,48 a*	3,13 a	2,82 a	2,67 a
T4	6,27 a	6,57 a	5,83 a	5,63 a	T4	3,50 a*	3,13 a	2,78 a	2,65 a
T5	6,10 a	5,93 a	6,00 a	5,43 a	T5	3,47 a*	3,20 a	2,77 a	2,60 a
T6	6,20 a	5,93 a	6,00 a	5,60 a	T6	3,43 a*	3,10 a	2,70 a	2,63 a
Acidez total titulável (%)					Diferença de cor (Dif*)				
Tratamento	1,91 a	1,67 a	1,78 a	1,85 a	Tratamento	1,28 c	3,77 a	2,77 a	3,28 b
T2	1,75 b*	1,73 a	1,84 a	1,73 a	T2	3,02 ab*	3,77 a	3,58 a	3,39 b
T3	1,73 b*	1,68 a	1,72 a	1,65 a	T3	3,13 ab*	2,99 a	2,25 a	3,97 b
T4	1,77 b*	1,73 a	1,68 a	1,70 a	T4	4,60 a*	4,13 a	3,94 a	6,33 a*
T5	1,76 b*	1,70 a	1,74 a	1,76 a	T5	3,02 ab*	1,90 a	2,60 a	4,43 ab
T6	1,76 b*	1,84 a	1,69 a	1,77 a	T6	2,59 bc	2,75 a	3,09 a	3,38 b

Tratamento		Tonalidade de cor (h*)			Tratamento		Saturação de cor (C*)		
T1	35,36 c	37,91 a	38,26 a	34,12 a	T1	18,46 c	20,56 a	19,06 a	15,82 a
T2	42,20 a*	37,43 a	35,90 a	34,67 a	T2	17,56 c	20,08 a	19,96 a	17,93 a
T3	41,44 a*	37,78 a	36,50 a	34,46 a	T3	18,13 c	20,53 a	18,82 a	16,91 a
T4	37,69 b*	36,79 a	37,89 a	34,95 a	T4	22,54 a*	19,78 a	20,33 a	17,95 a
T5	38,40 b*	39,05 a	37,01 a	36,12 a*	T5	20,58 b*	19,89 a	18,08 a	17,43 a
T6	37,31 bc*	39,47 a	38,15 a	35,60 a	T6	20,48 b*	21,10 a	18,92 a	18,88 a*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Névoa 20 mg L⁻¹/5 min; T3- Névoa 20 mg L⁻¹/10 min; T4- Névoa 40 mg L⁻¹/5 min; T5- Névoa 40 mg L⁻¹/10 min; T6- Água 3,32 mg L⁻¹/5 min.

O uso de névoa ozonizada e água ozonizada influenciaram significativamente ($P < 0,05$) o teor de vitamina C dos morangos (Tabela 3). Foram observados efeitos entre os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) e em comparação ao controle (T1), nos dois tempos de armazenamento (dias 0 e 9). Para o tempo 0, os maiores teores médios de vitamina C foram obtidos nos tratamentos de névoa ozonizada contendo 20 mg L⁻¹ de O₃ (5 e 10 min/T2 e T3) e para o dia 9, a maior média foi observada no tratamento de água ozonizada (T6=24,66 mg 100 g⁻¹ de polpa).

Em relação ao controle (T1), diferenças foram observadas para a névoa ozonizada no tempo 0, quando aplicada por 10 min, em ambas as concentrações empregadas (20 e 40 mg L⁻¹ de O₃/T3 e T5). No nono dia do armazenamento, essas diferenças foram percebidas nos tratamentos de 20 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada (T2) e 40 mg L⁻¹ por 5 e 10 min (T4 e T5). Entre os tratamentos de névoa ozonizada (T2, T3, T4 e T5), a concentração de 20 mg L⁻¹ (T2 e T3) foi mais eficiente do que a de 40 mg L⁻¹ (T4 e T5) para preservar a vitamina C dos frutos, independente do tempo de exposição empregado, tanto no início (dia 0), como no fim do armazenamento (dia 9), tendo em vista que, o uso dessa concentração resultou em maiores teores de vitamina C.

Tabela 3. Valores médios da vitamina C, de morangos tratados com névoa ozonizada e água ozonizada, no início e fim do armazenamento.

Tratamento	Vitamina C (ácido ascórbico mg 100 g ⁻¹ de polpa)	
	Armazenamento (dias)	
	0	9
T1	29,06 b	22,60 ab
T2	28,77 b	19,23 c*
T3	33,32 a*	21,13 bc
T4	27,15 b	13,94 d*
T5	22,75 c*	11,15 d*
T6	27,59 b	24,66 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Névoa 20 mg L⁻¹/5 min; T3-Névoa 20 mg L⁻¹/10 min; T4-Névoa 40 mg L⁻¹/5 min; T5-Névoa 40 mg L⁻¹/10 min; T6-Água 3,32 mg L⁻¹/5 min.

Na tabela 4 são apresentadas as equações de regressão com os respectivos coeficientes de determinação (r^2) que descrevem o comportamento da perda de massa fresca (%), firmeza (N), sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%), diferença de cor (Dif*), tonalidade de cor (h*) e saturação de cor (C*) ao longo do armazenamento, de morangos tratados com névoa ozonizada e água ozonizada. Os

tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para o tempo de armazenamento, foram descritos pela média geral.

A perda de massa fresca (%) foi influenciada significativamente pelo tempo de armazenamento ($P < 0,05$), apresentando efeitos lineares em todos os tratamentos analisados (T1, T2, T3, T4, T5 e T6). Foi observado comportamento crescente ao longo do tempo para essa variável. Os acréscimos médios no percentual de perda de massa fresca foram próximos de 0,30% a cada dia avaliativo, para todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5 e T6). Os coeficientes de determinação (r^2) dessa característica variaram de 0,9316 a 0,9984. Quanto a firmeza, constatou-se efeitos significativos, apenas para o tratamento de água ozonizada (T6). Observou-se efeito linear para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e comportamento decrescente neste tratamento. As reduções médias nos valores de firmeza deste tratamento foram de 0,14 N a cada dia avaliativo.

Constatou-se efeitos significativos para o potencial hidrogeniônico (pH). Verificou-se efeitos lineares para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e comportamento decrescente. As reduções médias nos valores de pH foram próximas de 0,1 a cada dia avaliativo, para todos os tratamentos avaliados (T1, T2, T3, T4, T5 e T6). Os coeficientes de determinação (r^2) obtidos para o potencial hidrogeniônico (pH) variaram de 0,9383 a 0,9748. Para a diferença de cor (Dif*), apenas o tratamento de água ozonizada (T6) influenciou significativamente essa característica. Foi observado efeito linear para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e comportamento crescente. Os acréscimos médios observados para a diferença de cor no tratamento de água ozonizada (T6) foram de 0,09 a cada dia avaliativo.

Com relação a tonalidade de cor, efeitos significativos foram encontrados somente nos tratamentos de névoa ozonizada contendo 20 mg L⁻¹ de O₃ (5 e 10 min/T2 e T3). Foi observado efeito linear para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e comportamento decrescente nestes tratamentos. A cada dia avaliativo, as reduções médias no ângulo Hue destes tratamentos foram de 0,80 e 0,74 h* (T2 e T3). Os modelos obtidos para esses tratamentos apresentaram ajuste (r^2) de 0,8910 e 0,9553, respectivamente. Quanto a saturação de cor, apenas o uso de névoa ozonizada na concentração de 40 mg L⁻¹ por 10 min (T5) influenciou significativamente essa variável. Verificou-se efeito linear para o tempo de armazenamento ($P < 0,05$) e tendência decrescente. A cada dia avaliativo, a polpa de morango apresentou reduções médias de 0,37 C*.

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (r^2) para a perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, diferença de cor, tonalidade de cor e saturação de cor ao longo do tempo de armazenamento (TE), em morangos tratados com névoa ozonizada e água ozonizada.

Perda de massa fresca (%)			Firmeza (N)		
Trat.	Equações ajustadas	r^2	Trat.	Equações ajustadas	r^2
T1	$\hat{y}_i = 0,0442 + 0,3025*TE$	0,9833	T1	$\hat{y}_i = 2,6350$	-
T2	$\hat{y}_i = -0,0851 + 0,2757*TE$	0,9926	T2	$\hat{y}_i = 2,3087$	-
T3	$\hat{y}_i = -0,0408 + 0,2852*TE$	0,9966	T3	$\hat{y}_i = 2,4370$	-
T4	$\hat{y}_i = 0,0369 + 0,2591*TE$	0,9984	T4	$\hat{y}_i = 2,3500$	-
T5	$\hat{y}_i = -0,0028 + 0,2882*TE$	0,9880	T5	$\hat{y}_i = 2,1470$	-
T6	$\hat{y}_i = 0,0984 + 0,3013*TE$	0,9316	T6	$\hat{y}_i = 2,6160 - 0,1408*TE$	0,9053
Sólidos solúveis totais (°Brix)			Potencial hidrogeniônico (pH)		
T1	$\hat{y}_i = 6,4333$	-	T1	$\hat{y}_i = 3,2050$	-
T2	$\hat{y}_i = 6,2967$	-	T2	$\hat{y}_i = 3,4767 - 0,1022*TE$	0,9457
T3	$\hat{y}_i = 6,5533$	-	T3	$\hat{y}_i = 3,4400 - 0,0922*TE$	0,9723
T4	$\hat{y}_i = 6,4700$	-	T4	$\hat{y}_i = 3,4517 - 0,0967*TE$	0,9642
T5	$\hat{y}_i = 6,1567$	-	T5	$\hat{y}_i = 3,4633 - 0,1011*TE$	0,9748
T6	$\hat{y}_i = 6,1933$	-	T6	$\hat{y}_i = 3,3867 - 0,0933*TE$	0,9383
Acidez total titulável (%)			Diferença de cor (Dif (*))		
T1	$\hat{y}_i = 1,8091$	-	T1	$\hat{y}_i = 2,0265$	-
T2	$\hat{y}_i = 1,7583$	-	T2	$\hat{y}_i = 3,3029$	-
T3	$\hat{y}_i = 1,7289$	-	T3	$\hat{y}_i = 2,8163$	-
T4	$\hat{y}_i = 1,7635$	-	T4	$\hat{y}_i = 3,9995$	-
T5	$\hat{y}_i = 1,7334$	-	T5	$\hat{y}_i = 2,2480$	-
T6	$\hat{y}_i = 1,7859$	-	T6	$\hat{y}_i = 2,5464 + 0,0902*TE$	0,9785
Tonalidade de cor (h*)			Saturação de cor (C*)		
T1	$\hat{y}_i = 36,9177$	-	T1	$\hat{y}_i = 19,8859$	-
T2	$\hat{y}_i = 41,1706 - 0,8042*TE$	0,8910	T2	$\hat{y}_i = 18,7375$	-
T3	$\hat{y}_i = 40,8783 - 0,7404*TE$	0,9553	T3	$\hat{y}_i = 19,3987$	-
T4	$\hat{y}_i = 37,9015$	-	T4	$\hat{y}_i = 22,1380$	-
T5	$\hat{y}_i = 38,9749$	-	T5	$\hat{y}_i = 20,6824 - 0,3749*TE$	0,9607
T6	$\hat{y}_i = 38,5983$	-	T6	$\hat{y}_i = 20,8937$	-

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Tratamentos: T1-Controle; T2-Névoa 20 mg L⁻¹/5 min; T3- Névoa 20 mg L⁻¹/10 min; T4- Névoa 40 mg L⁻¹/5 min; T5- Névoa 40 mg L⁻¹/10 min; T6- Água 3,32 mg L⁻¹/5 min.

4. DISCUSSÃO

Até o momento, não existem relatos sobre o uso de névoa ozonizada na desinfecção e preservação de características físico-químicas de morangos. Entretanto, os estudos existentes sobre a ozonização de morangos com aplicação de gás ou imersão em água ozonizada, foram fundamentais para comparação dos resultados obtidos neste trabalho. Os mecanismos de atuação do ozônio para inativação de microrganismos já são bem definidos na literatura. A atuação do ozônio na desinfecção de frutas está relacionada a destruição de microrganismos por oxidação progressiva dos fosfolipídios e proteínas presentes na membrana celular, resultando no aumento do tempo de prateleira (HAN et al., 2017; ERSOY et al., 2019).

Os fungos e bactérias presentes na superfície dos vegetais são inativados pelos radicais livres gerados no processo de ozonização, como a hidroxila (OH⁻), hidroperoxila (HO₂) e superóxido (O₂⁻) (MANOUSARIDIS et al., 2005). Ao entrar em contato com a superfície dos vegetais, em um primeiro momento, os radicais livres provocam a oxidação de grupos sulfidril, aminoácidos, enzimas, proteínas e peptídeos e em segundo momento, atua oxidando ácidos graxos poli-insaturados a peroxiácidos (BOTTA et al., 2018; HUANG et al., 2024). Esse processo resulta no aumento da permeabilidade das membranas, dispersão de constituintes citoplasmáticos e material genético como DNA e RNA e conseqüentemente, na morte dos microrganismos (ZHANG et al., 2020; HUANG et al., 2024).

Efeitos positivos do ozônio gasoso ou aquoso sobre a redução de mesófilos aeróbios também foram observados por outros autores. A lavagem de morangos com água ozonizada (2 mg L⁻¹ por 3 min), reduziu a contagem de mesófilos em 2,3 log UFC g⁻¹ (ALEXANDRE et al., 2011). O tratamento de morangos com ozônio gasoso (4; 9 e 14 mg L⁻¹ por 30 min) permitiu reduções na contagem de mesófilos de 2,26, 2,06 e 3,76 log UFC g⁻¹ (ALVES et al., 2019).

Em bactérias *E. coli* e *Salmonella*, o ozônio aquoso diminuiu consideravelmente a presença destes microrganismos. No tratamento de morangos inoculados com *E. coli* (O157:H7) e *Salmonella*, o uso de água ozonizada (1,8 mg L⁻¹ por 4 min) reduziu 1,3 e 1,4 log UFC g⁻¹, respectivamente (BIALKA; DEMIRCI, 2007). Sua eficiência também foi constatada na assepsia de morangos, nas concentrações de 0,04; 0,08 e 0,11 mg L⁻¹ por 5 min (FERREIRA et al., 2017). Na forma de gás, o controle destas bactérias pelo ozônio em morangos, foi melhor alcançado em concentrações de 50 mg L⁻¹ por 30 e 60 min (Ponce et al., 2010) e 14 mg L⁻¹ por 5 min (ZHOU et al., 2018).

Para redução da contagem de bolores e leveduras e eliminação do fungo *B. cinerea* em morangos, o ozônio também apresentou resultados satisfatórios. A imersão de morangos em água ozonizada nas concentrações de 0,075 a 0,25 mg L⁻¹ por 2 e 5 min (ADAY et al., 2014) e 3,3 mg min⁻¹ (taxa de fluxo \geq) por 3 min (MARYAM et al., 2020), inibiram o crescimento e a presença de infecções fúngicas ao longo do armazenamento. A lavagem de morangos cv. Albion, em água ozonizada (3,5 mg L⁻¹ por 5 min), reduziu a incidência do fungo *B. cinerea*, diminuindo significativamente as contaminações em comparação com o controle (CONTIGIANI et al., 2018; CONTIGIANI et al., 2020). Sua aplicação e eficiência como gás fumigante na inativação de *B. cinerea* em morangos, foi verificada em concentrações ótimas de 0,00148 mg L⁻¹ (CHILOSI et al., 2015) e 0,00321 mg L⁻¹ (NADAS et al., 2003), com tempos de exposições intermitentes.

Neste estudo, observou-se que entre os tratamentos de névoa ozonizada, a concentração de 40 mg L⁻¹ por 10 min apresentou os maiores incrementos na contagem de fungos filamentosos e leveduras, no terceiro e sexto dia do armazenamento. Os resultados indicam que altas concentrações de névoa ozonizada podem intensificar o aparecimento de fungos filamentosos e leveduras ao longo do armazenamento. Esses aumentos também podem estar associados ao maior condensamento de água durante a fase de ozonização, à medida que se prolonga o tempo de aplicação. Tendo em vista que, a presença de fungos filamentosos e leveduras foi superior com 10 min de exposição, em ambas as concentrações utilizadas.

Tendência semelhante foi observada em morangos imersos em água ozonizada (3,5 mg L⁻¹) por 5 e 15 min (CONTIGIANI et al., 2018) e submetidos ao ozônio gasoso por 30 min, nas concentrações de 14 e 18 mg L⁻¹ (ALVES et al., 2019). Nesses estudos, ao se elevar o tempo de exposição de 5 para 15 min (CONTIGIANI et al., 2018) e a concentração de 14 para 18 mg L⁻¹ (ALVES et al., 2019), constatou-se uma maior incidência de fungos. Isso ocorre porque o aumento das concentrações ou tempos de exposição ao ozônio, podem ocasionar danos a epiderme dos frutos, especialmente em produtos sensíveis. As alterações externas, geram condições favoráveis para o desenvolvimento de patógenos, modificando a composição do fruto e acelerando o processo de deterioração (ALENCAR et al., 2013).

Os menores percentuais da perda de massa fresca encontrados nos tratamentos de névoa ozonizada até o sexto dia do armazenamento, em comparação com a água ozonizada e o controle, podem estar associados a reduções de microrganismos. A temperatura de 5°C e a alta umidade relativa de 87% do ambiente de armazenamento, também podem ter contribuído para preservar essa característica. Menores perdas de massa fresca normalmente são obtidas em ambientes de armazenamento com temperaturas mais baixas e umidades relativas mais

altas, que diminuem a transpiração e perda de água dos frutos (SHIN et al., 2008; TAVARES et al., 2019).

Outros fatores de importância são as concentrações e tempos de exposição ao ozônio. No tratamento de 20 mg L⁻¹ por 5 min de névoa ozonizada, foram registrados os valores mais baixos para contagem de mesófilos até o terceiro dia do armazenamento e os mais baixos para perda de massa fresca e contagem de fungos filamentosos e leveduras até o sexto dia. Nesse sentido, os aumentos ou reduções nos percentuais da perda de massa podem estar relacionados a presença ou ausência de contaminações nos frutos ao longo do armazenamento. Isso foi verificado por exemplo, em morangos cv. Albion imersos em água ozonizada (3,5 mg L⁻¹) por 5 e 15 min para controle do fungo *B. cinerea*, em que o tempo de 5 min resultou em uma menor perda de massa, ou incidência fúngica em relação ao tempo de 15 min (CONTIGIANI et al., 2018). Esse comportamento esteve relacionado ao engrossamento das membranas cuticulares, que conferiu maior resistência aos frutos. Os morangos expostos ao tempo de 5 min apresentaram cutículas mais espessas e um maior acúmulo de elétrons, quando comparados ao tempo de 15 min e ao controle, que conseqüentemente reduziu a perda de água e a presença de contaminações pelo fungo *B. cinerea* (CONTIGIANI et al., 2018).

A firmeza é uma característica fundamental na comercialização de morangos *in natura*, utilizada por muitos consumidores como critério de seleção dos frutos durante a compra, podendo ser um indicador de alterações microbiológicas e bioquímicas em frutas frescas (ALZAMORA et al., 2008; MOU et al., 2015; SOARES et al., 2020). Essa variável também é importante na projeção de embalagens e confere resistência no transporte e comercialização de frutas (LUENGO et al., 2003; BECKER et al., 2015).

O amolecimento dos tecidos na fase de pós-colheita é um processo natural, caracterizado pela perda de turgor que proporciona rigidez as células (PIECHOWIAK et al., 2022). Nesse processo bioquímico, ocorre a decomposição e despolimerização de elementos presentes na parede celular como a pectina, hemicelulose e celulose, responsáveis pelo enrijecimento (YANG et al., 2018). Por não apresentarem casca, pequenas frutas como morango, framboesa e amora, normalmente são mais susceptíveis a injúrias mecânicas e perdas de água durante o armazenamento (GIUGGIOLI et al., 2015). Aspecto diferente em outros vegetais, que apresentam nessa região, um conjunto de células epidérmicas mais epiderme, que conferem maior resistência a pressão externa (PIECHOWIAK et al., 2022). Além disso, o morango apresenta células grandes, paredes celulares finas e presença de poligalacturonase, responsável por solubilizar e degradar os poliuronídeos da célula, intensificando o amolecimento dos tecidos (SILVA et al., 2009; TAVARES et al., 2017).

Este trabalho demonstrou que a aplicação de névoa ozonizada ou água ozonizada, não alterou a firmeza dos frutos ao longo do armazenamento. A ausência de efeitos sobre a firmeza também foi verificada em mirtilos, após imersão em água ozonizada em tempos de 10 a 30 min (JARAMILLO-SÁNCHEZ et al., 2019). Poucos estudos demonstram os efeitos do ozônio sobre a manutenção da firmeza em morangos, mas, alguns relatos indicaram que baixas concentrações de ozônio gasoso ($0,00214 \text{ mg L}^{-1}$), ou aquoso ($0,075 \text{ mg L}^{-1}$), contribuíram para preservação dessa característica durante o período de armazenamento (ADAY et al., 2014; PANOU et al., 2021).

Os decréscimos de sólidos solúveis verificados ao final do armazenamento são um processo natural durante a senescência. À medida que os frutos envelhecem, os carboidratos são degradados para produção da energia gasta no metabolismo dos morangos (ALMENAR et al., 2005). Os açúcares (glicose, sacarose e frutose) são os principais constituintes do teor de sólidos solúveis e a decomposição desses compostos resultam em perda da qualidade durante o armazenamento (MOSHARI-NASIRKANDI et al., 2020). Esta pesquisa demonstrou que os morangos tratados com névoa ozonizada, ou água ozonizada, não tiveram o teor de sólidos solúveis alterado durante o período de armazenamento. Efeitos semelhantes ocorreram em morangos cv. Albion submetidos a lavagem com água ozonizada ($3,5 \text{ mg L}^{-1}$) por 5 e 15 min (CONTIGIANI et al., 2020). Por outro lado, alguns estudos constataram incrementos significativos no teor de sólidos solúveis de morangos, com a utilização de água ozonizada (MARYAM et al., 2020) e ozônio gasoso (ONOPIUK et al., 2017a; ALVES et al., 2019; PANOU et al., 2021).

O teor de açúcares e a acidez são muito importantes em morangos e influenciam o sabor, mas sua classificação tendo estes parâmetros como base, variam conforme a finalidade. De modo geral, as indústrias possuem uma maior preferência por morangos mais ácidos, mas para o consumo *in natura*, o ideal é que os frutos sejam mais doces e tenham uma menor acidez (CONTI, 2002).

Os valores de pH expressam a capacidade de tamponar uma solução e a acidez total titulável, a quantidade de ácido cítrico presente nos morangos (MORAIS et al., 2015). Na literatura, os aumentos de pH e consequentemente, as reduções da acidez titulável em morangos ozonizados, estão associados a diminuição da taxa respiratória e da concentração de íons H^+ , que tornam os frutos menos ácidos. Podendo ocorrer ao longo de quase todo o armazenamento, ou apenas no final (MORAIS et al., 2015; MORAES et al., 2008). Em outros ensaios experimentais, isso foi observado tanto em morangos expostos ao gás ozônio (Panou

et al., 2021), como a água ozonizada (MARYAM et al., 2020). Neste estudo, esses aumentos aconteceram somente após a ozonização no dia 0, não sendo verificados nos outros dias.

Os resultados demonstram que o aumento da concentração de névoa ozonizada, de 20 para 40 mg L⁻¹ de O₃, podem intensificar a redução do teor de ácido ascórbico em morangos. Os teores de ácido ascórbico encontrados neste trabalho foram abaixo da faixa ideal para morangos frescos, que se encontra entre 35 e 104 mg/100 g de polpa (KLOPOTEK et al., 2005). Contudo, essa característica também está relacionada a cultivar e fase de maturação dos frutos (ONOPIUK et al., 2017a). O que pode estar relacionado aos valores mais baixos de ácido ascórbico, tanto nas amostras controle, como nas amostras ozonizadas.

A eficiência do ozônio para preservação da vitamina C foi observada em morangos imersos em água ozonizada (ONOPIUK et al., 2017a; MARYAM et al., 2020, NAYAK et al., 2020). Nesses estudos, constatou-se um decréscimo nos teores de ácido ascórbico de todos os tratamentos, mas em frutos ozonizados houve maiores incrementos de vitamina C, semelhantemente ao observado neste trabalho. Essa mesma tendência foi percebida em framboesas vermelhas, expostas ao gás ozônio em concentrações de 0,3 a 0,9 mg L⁻¹ e exposições de até 120 min (ONOPIUK et al., 2017b).

Alterações de cor são resultantes de um maior distanciamento da coloração inicial, provocado pela degradação de antocianinas, pigmentos responsáveis pela cor laranja, vermelho e azul de frutas e hortaliças. Neste trabalho essas alterações foram percebidas no início (dia 0) e fim do armazenamento (dia 9), especialmente com aplicação de 40 mg L⁻¹ de névoa ozonizada. As maiores diferenças de cor, tonalidade e saturação de cor obtidas no final do armazenamento (dia 9), também podem ser provenientes do processo de deterioração natural que pode ter se intensificado pelo aumento da concentração de ozônio, ou presença de água durante o processo de ozonização no dia 0. As mudanças mais acentuadas na cor, encontradas no final do armazenamento, condizem com outros trabalhos. Essa mesma tendência foi verificada em morangos expostos ao ozônio gasoso nas concentrações de 0,3; 0,6 e 0,8 mg L⁻¹ por 60 min (HELENO et al., 2014) e imersos em água ozonizada por 5 min, contendo 0,04; 0,08 e 0,11 mg L⁻¹ de O₃ (FERREIRA et al., 2017).

Altas concentrações de ozônio, ou tempos de exposição muito longos, podem resultar em estresse oxidativo que é ocasionado pela presença de radicais livres provenientes da decomposição do ozônio, como a hidroxila (OH⁻), a hidroperoxila (HO₂) e o superóxido (O₂⁻) (PIECHOWIAK et al., 2020; PIECHOWIAK et al., 2021a; PIECHOWIAK et al., 2021b). Os radicais podem oxidar biomoléculas como proteínas, lipídios e DNA, diminuindo a produção energética da molécula de ATP (Adenosina Trifosfato), necessária para a atividade

metabólica de polifenóis, enzimas e antioxidantes (HUANG et al., 2019; PIECHOWIAK et al., 2020; PIECHOWIAK et al., 2021a; PIECHOWIAK et al., 2021b). Os radicais livres presentes na aplicação de ozônio por via úmida, podem ocasionar estresse oxidativo e quebra de anéis aromáticos em corantes orgânicos como as antocianinas, oxidando estes pigmentos (XUE et al., 2008; TIWARI et al., 2009; PIECHOWIAK et al., 2020).

As antocianinas são os pigmentos de cor predominantes no morango. Esses flavonoides possuem um papel fundamental na proteção de frutas vermelhas. Em concentrações e tempos de exposição adequados, o ozônio pode contribuir com o aumento da capacidade antioxidante e neutralização das espécies reativas de oxigênio. Isso foi observado por exemplo, em mirtilos (PIECHOWIAK et al., 2020; PIECHOWIAK et al., 2021b) e framboesas tratadas com ozônio gasoso (PIECHOWIAK et al., 2021a). Neste trabalho, morangos provenientes dos tratamentos de 20 mg L⁻¹ de névoa ozonizada, apresentaram menor perda de cor e qualidade visual ao longo do armazenamento, que poderia ser resultante desse processo.

Neste estudo, a ozonização de morangos por meio aquoso na forma de névoa, foi mais eficiente em comparação ao procedimento por imersão, tanto para descontaminação, como para preservação da qualidade físico-química de morangos. Os resultados deste trabalho demonstram que a névoa ozonizada possui grande potencial como sanitizante, no tratamento pós-colheita de morangos para consumo *in natura*.

5. CONCLUSÕES

A névoa ozonizada foi mais eficiente do que a água ozonizada para preservar a aparência externa e prolongar o tempo de prateleira dos morangos, especialmente na concentração de 20 mg L⁻¹. Independente da concentração e tempo de exposição, a névoa ozonizada foi mais eficiente do que a água ozonizada para redução de mesófilos aeróbios. O uso da névoa ozonizada na concentração de 20 mg L⁻¹ durante 5 min, foi o tratamento mais eficiente para reduzir a incidência de fungos filamentosos e leveduras. Os tratamentos de névoa ozonizada contendo 20 mg L⁻¹ foram mais eficientes do que os de 40 mg L⁻¹, para preservar a vitamina C dos morangos.

REFERÊNCIAS

ADAY, M. S.; BÜYÜKCAN, M. B.; TEMIZKAN, R.; CANER, C. Role of Ozone Concentrations and Exposure Times in Extending Shelf Life of Strawberry. **Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association**, v. 36, n. 1, p. 43-56, 2014. <http://doi.org/10.1080/01919512.2013.833851>

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; PINTO, M. S.; COSTA, A. R.; SILVA, T. A. Postharvest quality of ozonized “nanição” cv. Bananas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 107-114, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100014>

ALEXANDRE, E. M. C.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 417-426, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.002>

ALEXANDRE, E. M. C.; SANTOS-PEDRO, D. M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 2, p. 277-282, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.032>

ALMENAR, E.; P. HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. M.; LAGARÓN, R. CATALÁ.; GAVARA, R. “Controlled Atmosphere Storage of Wild Strawberry Fruit (*Fragaria vesca* L.)” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 86-91, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf0517492>

ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; DEKANSKI, D.; RISTIC, S.; RADONJIC, N. V.; PETRONIJEVIC, N. D.; GIAMPIERI, F.; ASTOLFI, P.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; TULIPANI, S.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Strawberry Polyphenols Attenuate Ethanol-Induced Gastric Lesions in Rats by Activation of Antioxidant Enzymes and Attenuation of MDA Increase. **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, p. 1-11, e25878, 2011. <https://doi:10.1371/journal.pone.0025878>

ALVES, H.; ALENCAR, E. R.; FERREIRA, W. F. S.; SILVA, C. R.; RIBEIRO, J. L. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de morango exposto ao gás ozônio em diferentes concentrações durante o armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p.1-12, e2018002, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.00218>

ASLAM, R.; ALAM, M. S.; SAEED, P. A. Sanitization potential of ozone and its role in postharvest quality management of fruits and vegetables. **Food Engineering Reviews**, v. 12, p. 48-67, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09204-0>

ALZAMORA, S. M.; VIOLLAZ, P. E.; MARTÍNEZ, V. Y.; NIETO, A. B.; SALVATORI, D. Part 9. p. 155-181. *In*: GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; BARBOSA-CANÓVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; PARADA-ARIAS, E (Editors). **Food Engineering Integrated Approaches**. Springer: New York, NY, USA, 2008. 476 p. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75430-7_9

BASTOS, R. G.; OLIVER, J. C.; GERMANO, J. L.; FERNANDES, G. R.; VEIGA, S. M. O. M. Effectiveness evaluation of alternative sanitizers in microbiological quality of strawberry

(*Fragaria ananassa* Duch Var. Oso Grande) after artificial contamination by *Escherichia coli*. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 470-474, 2019. <https://doi.org/10.1590/fst.21118>

BASU, A.; NGUYEN, A.; BETTS, N. M.; LYONS, T. J. Strawberry as a functional food: An evidence-based review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, 790-806, 2014. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608174>

BECKER, F. S.; VILAS BOAS, A. C.; SALES, A.; TAVARES, L. S.; SIQUEIRA, H. H.; VILAS BOAS, E. V. B. Characterization of ‘Sabará’ Jaboticabas at diferente maturation stages. **Acta Scientiarum**, v.37, n. 4, p. 457-462, 2015. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i4.19499>

BIALKA, K. L.; DEMIRCI, A. Utilization of Gaseous Ozone for the Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on Raspberries and Strawberries. **Journal of Food Protection**, v. 70, n. 5, p. 1093-1098, 2007. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-70.5.1093>

BOLINI, H. M. A.; MORAES, P. Tese mostra que análise sensorial incrementaria produção de iogurte. **Jornal da Unicamp**, ed. 253, de 24-30 de maio, p.11, 2004. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju253pag11.pdf> Acesso em: 13/05/2023

BOTTA, C.; FERROCINO, I.; CAVALLERO, M. C.; RIVA, S.; GIORDANO, M.; COCOLIN, L. Potentially active spoilage bacteria community during the storage of vacuum packaged beefsteaks treated with aqueous ozone and electrolyzed water. **International Journal of Food Microbiology**, v. 266, p. 337-345, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.012>

BOUWKNEGT, M.; VERHAELLEN, K.; RZEŻUTKA, A.; KOZYRA, I.; MAUNULA, L.; VON BONSDORFF, C-H.; VANTARAKIS, A.; KOKKINOS, P.; PETROVIC, T., LAZIC, S. Quantitative farm-to-fork risk assessment model for norovirus and hepatitis A virus in European leafy green vegetable and berry fruit supply chains. **International Journal of Food Microbiology**, v. 2, n. 198, p. 50-58, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.013>

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfda/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/obter-credenciamento/documentos-rede-nacional-de-laboratorios-agropecuarios/ModelopPg._susp.deensaiosMrieux_25.04.19.pdf>. Acesso em: 25/05/2023.

CHILOSI, G.; TAGLIAVENTO, V.; SIMONELLI, R. Application of Ozone Gas at Low Doses in the Cold Storage of Fruit and Vegetables. **Acta Horticulturae**, v. 1071, p. 681-686, 2015. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1071.90>

CIE (2004). CIE technical report. Colorimetry (3rd ed.). 552. Colorimetry (pp. 24–). ISBN 3901-906-33-9. [https://doi.org/ISBN 3 901 906 33 9](https://doi.org/ISBN%203%20901%20906%2033%209).

CONTI, J. H.; MINAMI, K.; TAVARES, F. C. A. Produção e qualidade de frutos de diferentes cultivares de morangueiro em ensaios conduzidos em Atibaia e Piracicaba.

Horticultura Brasileira, v. 20, n. 1, p. 10-17, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100002>

CONTIGIANI, E. V.; JARAMILLO-SÁNCHEZ, G.; CASTRO, M. A.; GÓMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Postharvest Quality of Strawberry Fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1639-1650, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2127-0>

CONTIGIANI, E. V.; KRONBERG, M. F.; SÁNCHEZ, G. J.; GÓMEZ, P. L.; GÁRCIA-LOREDO, A. B.; MUNARRIZ, E.; ALZAMORA, S. M. Ozone washing decreases strawberry susceptibility to *Botrytis cinerea* while maintaining antioxidant, optical and sensory quality. **Heliyon**, v. 6, n. 11, p. 1-9, e05416, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05416>

EBIHARA, K.; MITSUGI, F.; IKEGAMI, T.; NAKAMURA, N.; HASHIMOTO, Y.; YAMASHITA, Y.; BABA, S.; STRYCZEWSKA, H. D.; PAWLAT, J.; TEII, S.; SUNG, T. Ozone-mist spray sterilization for pest control in agricultural management. **European Physical Journal Applied Physics**, v. 61, p. 24318/1-5, 2013. <https://doi.org/10.1051/epjap/2012120420>

EBIHARA, K.; MITSUGI, F.; IKEGAMI, T.; YAMASHITA, Y.; HASHIMOTO, Y.; YAMASHITA, T.; KANAZAWA, S.; STRYCZEWSKA, H. D.; PAWLAT, J.; TEII, S.; SUNG, T-L. Sterilization Characteristics of Ozone-mist Spray for Chemical Free Agriculture. **International Journal of Plasma Environmental Science & Technology**, v. 10, n. 1, p. 11-15, 2016. <https://doi.org/10.34343/ijpest.2016.10.01.011>

ERSOY, Z. G.; BARISCI, S.; DINC, O. Mechanisms of the *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* inactivation by ozone. **Food Science and Technology-LWT**, v. 100, p. 306-313, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.095>

FERREIRA, W. F. S.; ALENCAR, E. R.; ALVES, H.; RIBEIRO, J. L.; SILVA, C. R. Influence of pH on the efficacy of ozonated water to control microorganisms and its effect on the quality of stored strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 692-700, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416013317>

FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; GASPARRINI, M.; AFRIN, S.; BOMPADRE, S.; MEZZETTI, B.; QUILES, J. L.; GIAMPIERI, F.; BATTINO, M. Healthy Effects of Strawberry Polyphenols: Which Strategy behind Antioxidant Capacity?. **Critical Reviews Food Science Nutrition**, v. 56, n. 1, p. S46-S59, 2016. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1051919>

GIUGGIOLI, N.; BRIANO, R.; GIRGENTI, V.; PEANO, C. Quality Effect of Ozone Treatment for the Red Raspberries Storage. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 25-30, 2015. <https://doi.org/10.3303/CET1544005>

HAJJI, S.; YOUNES, I.; AFFES, S.; BOUFI, S.; NASRI, M. Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life. **Food Hydrocoll**, v. 83, p. 375-392, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.013>

HAN, Q.; GAO, H.; CHEN, H.; FANG, X.; WU, W. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits. **Food Chemistry**, v. 221, n. 1, p. 1947-1953, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.152>

HUANG, H.; GUO, L.; WANG, L.; WANG, H.; MA, S.; JIANG, Y.; QU, H. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) slows ripening of kiwifruit and affects energy status, membrane fatty acid contents and cell membrane integrity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 156, p. 1-7 (110941), 2019. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110941>

HUANG, H.; NI, Z.; XIE, J.; LI, Y.; WEN, H.; HUANG, Z.; SITU, W.; SONG, X. Good Feasibility of Ozone-Microwave Treatment as a Sterilization Technology to Extend the Edible Life of Candied Fruit as a Post-processed Fresh Fruit Product. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-15, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03315-7>

HELENO, F. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A.; FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; OLIVEIRA, A. F. Effects of ozone fumigation treatment on the removal of residual difenoconazole from strawberries and on their quality. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 49, p. 94-101, 2014. <https://doi.org/10.1080/03601234.2014.846736>

IAL (2008). 1ª Edição Digital. Métodos Físicos-Químicos Para Análise de Alimentos. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>. Acesso em: 10/05/2023

JARAMILLO-SÁNCHEZ, G. M.; CONTIGIANI, E. V.; CASTRO, M. A.; HODARA, K.; ALZAMORA, S. M.; LOREDO, A. G.; NIETO, A. B. Freshness Maintenance of Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) During Postharvest Using Ozone in Aqueous Phase: Microbiological, Structure, and Mechanical issues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 2136-2147, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02358-z>

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J. G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15196.x>

KLOPOTEK, Y.; OTTO, K.; BÖHM, V. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 14, p. 5640-5646, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf047947v>

KROLOW, A. C. R. Beneficiamento de frutas vermelhas. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 268, p. 96-103, 2012.

LI, D.; KEUCKELAERE, A.; UYTTENDAELE, M. Fate of foodborne viruses in the “farm to fork” chain of fresh produce. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 6, p. 755-770, 2015. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12163>

LOZOWICKA, B.; JANKOWSKA, M.; HRYNKO, I.; KACZYNSKI, P. Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning

and boiling. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 188, n. 1, p. 1-19, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4850-6>

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P.; PESSOA, J. D. C. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 704-707, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400027>

MARYAM, A.; ANWAR, R.; MALIK, A. U.; RAHEEM, M. I. U.; KHAN, A. S.; HASAN, M. U.; HUSSAIN, Z.; SIDDIQUE, Z. Combined aqueous ozone and ultrasound application inhibits microbial spoilage, reduces pesticide residues and maintains storage quality of strawberry fruits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 1437-1451, 2020 <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00735-3>

MANOUSARIDIS, G.; NERANTZAKI, A.; PALEOLOGOS, E. K.; TSIOTSIAS, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. **Food Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.06.003>

MORAES, I. V. M.; CENCI, S. A.; BENE DETTI, B. C.; MAMEDE, A. M. G. N.; SOARES, A. G.; BARBOZA, H. T. G. Physical and chemical characteristics of strawberry minimally processed and stored under refrigeration and controlled atmosphere. **Food Science and Technology**, v.28, n. 2, p. 274-281, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200003>

MORAIS, M. L.; ALVINHÃO, J. E. O.; FRANCO, D. V.; SILVA, E. B.; N. A. V. D. Application of ozone aiming to keep the quality of strawberries using a low cost reactor. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 559-567, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-181/14>

MOU, W.; LI, D; LUO, Z; MAO, L; YING, T. Transcriptomic analysis of ABA influences on pigments, flavonoids and antioxidant system in tomato fruit during ripening. **PLoS One**, v. 10, n. 6, p. 1-26, e0129598, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129598>

MOSHARI-NASIRKANDI, A.; ALIREZALU, A.; HACHESU, M. A. Effect of lemon verbena bio-extract on phytochemical and antioxidant capacity of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Sabrina) fruit during cold storage. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 25, p.1-8, 101613, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101613>

MYOZONE. Gerador de ozônio inteligente. **Névoa Ozonizada x Água Ozonizada: Quando e como usar?**. Novembro de 2023. Disponível em: <<https://myozone.com.br/nevoa-ozonizada-x-agua-ozonizada-quando-e-como-usar/>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

NADAS, A.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Growth of *Botrytis cinerea* and Strawberry Quality in Ozone-enriched Atmospheres. **JFS-Food Microbiology and Safety**, v. 68, n. 5, p. 1798-1802, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12332.x>

NAYAK, S. L.; SETHI, S.; SHARMA, R. R.; SHARMA, R. M. Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Jounal**

Food Science Technology, v. 57, n. 1, p. 319-326, 2020. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-019-04063-3>

ONOPIUK, A.; PÓŁTORAK, A.; WYRWISZ, J.; MOCZKOWSKA, M.; STELMASIAK, A.; LIPIŃSKA, A.; SZPICER, A.; ZALEWSKA, M.; ZAREMBA, R.; KUBOŃ, M.; WIERZBICKA, A. Impact of ozonisation on pro-health properties and antioxidant capacity of 'Honeoye' strawberry fruit. **CyTA Journal of Food**, v. 15, n. 1, p. 58-64, 2017a. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1212273>

ONOPIUK, A.; PÓŁTORAK, A.; MOCZKOWSKA, M.; SZPICER, A.; WIERZBICKA, A. The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus ideaus* raspberries. **CyTA Journal of Food**, v. 15, n. 4, p. 563-573, 2017b. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1317669>

PANDISELVAM, R.; SINGH, A.; AGRIOPOULOU, S.; SACHADYN-KRÓL, M.; ASLAM, R.; LIMA, C. M. G.; KHANASHYAM, A. C.; KOTHAKOTA, A.; ATAKAN, O.; KUMAN, M.; MATHANGHI, S. K.; KHANEGHAH, A. M. A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 127, p. 74-86, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.008>

PANOUE, A. A.; AKRIDA-DEMERTZI, K.; DEMERTZIS, P.; RIGANAKOS, K. A. Effect of Gaseous Ozone and Heat Treatment on Quality and Shelf Life of Fresh Strawberries during Cold Storage. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 218-231, 2021. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>

PASCUAL, A.; LLORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends Food Science & Technology**, v.18, p. S29–S35, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.10.006>

PIECHOWIAK, T.; SKÓRA, B.; BALAWEJDER, M. Ozone treatment induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1240-1245, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02450-9>

PIECHOWIAK, T.; MIGUT, D.; JÓZEFCZYK, R.; BALAWEJDER, M. Ozone Treatment Improves the Texture of Strawberry Fruit during Storage. **Antioxidants**, p. 1-14, 2022, 11, 821. <https://doi.org/10.3390/antiox11050821>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; BALAWEJDER, M. Effect of ozonation process on the energy metabolism in raspberry fruit during storage at room temperature. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 483-491, 2021a. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02591-5>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; TARAPATSKYY, M.; BALAWEJDER, M. The role of mitochondrial energy metabolism in shaping the quality of highbush blueberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 1973-1982, 2021b. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02696-x>

PONCE, A. R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. **Ciência e**

Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010005000016>

PETRASCH, S.; KNAPPS, J.; KAN, J. A. L. V.; BLANCO-ULATE, B. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 6, p. 877-892, 2019. <https://doi.org/10.1111/mpp.12794>

RAKNESS, K.; GORDON, G.; LANGLAIS, B.; MASSCHELEIN, W.; MATSUMOTO, N.; RICHARD, Y.; ROBSON, C. M.; SOMIYA, I. Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. **Ozone: Science & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 209-229. <https://doi.org/10.1080/01919519608547327>

ROSA, C. I. L. F.; MORIBE, A. M.; YAMAMOTO, L. Y.; SPERANDIO, D. Part 15. Pós-colheita e comercialização. p. 489-526. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. **Hortalças-fruto**. 2018. 535 p. <https://doi.org/10.7476/9786586383010>

SILVA, P. A.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; ASMAR, S. A. Modificações nas atividades da poligalacturonase e pectinametilesterase em morangos armazenados a temperatura ambiente. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, Edição Especial, p. 1953-1958, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000700044>

SCHROER, I. A.; SILVA, J.; BROCHIER, B.; SILVA, P. R. S.; SILVA, S. B.; HANSEN, E. Study of ozone misting for sanitization of hospital facilities: A CFD approach. **Ozone: Science & Engineering**, v. 45, n. 3, p. 305-319, 2023. <https://doi.org/10.1080/01919512.2022.2091512>

SHIN, Y.; RYU, J.; LIU, R. H.; NOCK, J. F.; WATKINS, C. B. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 2, p. 201-209, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.008>

SIVAPALASINGAM, S.; FRIEDMAN, C. R.; COHEN, L.; TAUXE, R. V. Fresh produce: a growing cause of outbreaks of foodborne illness in the United States, 1973 through 1997. **Journal of Food Protection**, v. 67, n. 10, p. 2342-2353, 2004. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.10.2342>

SOARES, J. M. S.; SILVA, M. S.; NASCIMENTO, F. S.; GONÇALVES, Z. S.; SOUZA, T. R.; RODRIGUES, T. C.; SOUSA, Y. M.; SOUZA, H. B. F. Preferências dos consumidores de banana quanto à qualidade do fruto em Cruz das Almas - BA. **Revista Agrária Acadêmica = Agrarian Academic Journal**, v. 3, n. 6, p. 86-95, 2020. <https://doi.org/10.32406/v3n6/2020/86-95/agrariacad>

TAVARES, T. S.; ROCHA, D. A.; NOGUEIRA, D. A.; FREIRE, L.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. N.; ABREU, C. M. P. Influência de quitosana de baixa massa molar na manutenção da qualidade pós-colheita de morangos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 36-47, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2952>> Acesso em: 23/05/2023

TAVARES, T. S.; ROCHA, D. A.; QUEIROZ, E. R.; ABREU, C. M. P.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. N. Chitosan coatings in the maintenance of strawberry quality during refrigerated storage. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 5434-5448, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n6-081>

TIWARI, B. K.; O'DORNNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1119-1126, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

TULIPANI, S.; ARMENI, T.; GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GONZALEZ-PARAMAS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; BUSCO, F.; PRINCIPATO, G.; BOMPADRE, S.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B., BATTINO, M. Strawberry intake increases blood fluid, erythrocyte and mononuclear cell defenses against oxidative challenge. **Food Chemistry**, v. 156, p. 87-93, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.098>

TURQUETT, L. C. G. B.; BASTOS, R. A.; LIMA, J. P.; VALENTE, G. F. S. Avaliação da cobertura comestível elaborada a partir de quitosana, farelo de arroz e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de morangos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 33153-33171, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-845>

XUE, J.; CHEN, L.; WANG, H. Degradation mechanism of Alizarin Red in hybrid gas–liquid phase dielectric barrier discharge plasmas: Experimental and theoretical examination. **Chemical Engineering Journal**, v. 138, n.1-3, p. 120-127, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.05.055>

YANG, H.; LIU, J.; DANG, M.; ZHANG, B.; LI, H.; MENG, R.; QU, D.; YANG, Y.; ZHAO, Z. Galactosidase during Fruit Development and Ripening in Two Different Texture Types of Apple Cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 539, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00539>

ZHANG, L.; WANG, Z.; SONG, Y.; LI, M.; YU, Q. Quality of vacuum packaged beef as affected by aqueous ozone and sodium citrate treatment. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n.1, p. 1475-1489, 2020. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1814322>

ZHANG, Y.; MASUM, M. M. I.; GAO, C.; CHENG, Y.; GUAN, J. Ozone reduces the fruit decay of postharvest winter jujube by altering the microbial community structure on fruit surface. **Microbiological Research**, v. 262, p. 127110, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127110>

ZHANG, X.; ZHANG, Z.; WANG, L.; ZHANG, Z.; LI, J.; ZHAO, C. Impact of ozone on quality of strawberry during cold storage. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 5, p.356-360, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1053-y>

ZHOU, Z.; ZUBER, S.; CANTERGIANI, F.; SAMPERS, I.; DEVLIEGHERE, F.; UYTENDAELE, M. Inactivation of foodborne pathogens and their surrogates on fresh and frozen strawberries using gaseous ozone. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, n. 51, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00051>

ZHU, F. Effect of ozone treatment on the quality of grain products. **Food Chemistry**, v. 264, p. 358-366, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.047>

Capítulo 3: Eficiência da água ozonizada em sistema de microbolhas na sanitização e qualidade pós-colheita de acerolas

Resumo: Este trabalho teve como objetivo, investigar a eficiência da água ozonizada na sanitização e qualidade pós-colheita de acerolas. Os experimentos foram conduzidos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os tempos de armazenamento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O ensaio foi composto por sete tratamentos: um controle, que correspondeu a frutas não tratadas, três tempos de exposição a água ozonizada (5,60 mg L⁻¹ de O₃) - 20, 40 e 60 min e três tempos de exposição ao oxigênio em água - 20, 40 e 60 min. As análises microbiológicas e de qualidade foram realizadas imediatamente após a ozonização no dia 0 e depois de 3, 6 e 9 dias de armazenamento. Como parâmetros de qualidade analisou-se o percentual de perda de massa, firmeza, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C, cor, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total. As acerolas foram armazenadas em ambiente refrigerado sob temperatura de 5 °C e umidade relativa de 87%. A água ozonizada foi eficiente para manutenção da firmeza em acerolas, independente do tempo de exposição adotado. O tratamento das acerolas com 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min, foi a melhor condição para inativação bacteriana e fúngica e para preservação da vitamina C, pH, acidez total titulável, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total ao longo do armazenamento. Conclui-se que a água ozonizada é uma tecnologia promissora para sanitização e qualidade pós-colheita de acerolas.

Palavras-chave: *Malpighia emarginata* DC.; Armazenamento de frutas; Inativação bacteriana e fúngica; Análises físico-químicas.

Abstract: This study aimed to assess the efficacy of ozonated water in sanitizing acerolas and preserving their postharvest quality. The experiment utilized a split-plot design, with treatments as main plots and storage times as subplots. A completely randomized design (CRD) with three replications was employed. The trial included seven treatments: a control group with untreated fruits, three exposure times to ozonized water (5.60 mg L^{-1} of O_3) - 20, 40, and 60 min, and three exposure times to oxygen water - 20, 40, and 60 min. Microbiological and quality analyses were conducted immediately after ozonation on day 0 and after 3, 6, and 9 days of storage. Various quality parameters were evaluated, including percentage of mass loss, firmness, soluble solids content, pH, total titratable acidity, vitamin C, color, total phenolic compounds, and total antioxidant activity. Acerolas were stored in a refrigerated environment at $5 \text{ }^\circ\text{C}$ with a relative humidity of 87%. Ozonated water proved effective in maintaining firmness in acerolas, irrespective of the exposure time. The treatment involving acerolas with 5.60 mg L^{-1} of O_3 for 20 minutes demonstrated optimal conditions for bacterial and fungal inactivation, as well as for preserving vitamin C, pH, total titratable acidity, total phenolic compounds, and total antioxidant activity throughout the storage period. In conclusion, ozonated water emerges as a promising technology for the sanitation and postharvest quality preservation of acerolas.

Keywords: *Malpighia emarginata* DC.; Fruit storage; Bacterial and fungal inactivation; Physicochemical analysis.

1. INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia emarginata* Sessé & Moc. ex DC) é uma fruta tropical e exótica de amadurecimento climatérico, pertencente a família Malpighiaceae (FIGUEIREDO NETO et al., 2014; MAZARO et al., 2015). Considerada uma “superfruta” pelo alto valor nutracêutico, a acerola concentra importantes compostos bioativos, como antioxidantes, fenóis, flavonoides, antocianinas, carotenoides e minerais (JAESCHKE et al., 2016; PRAKASH; BASKARAN, 2018; VIEIRA et al., 2021). Esses compostos possuem efeitos anti-hiperglicêmicos e anticancerígenos, além de auxiliarem na proteção da pele, emagrecimento, aumento da imunidade e evitarem a genotoxicidade de ferro no organismo (LEFFA et al., 2015; HORTA et al., 2016; BELWAL et al., 2018; ALBUQUERQUE et al., 2019). Dentre os compostos presentes nessa fruta, destaca-se o elevado teor de vitamina C, que varia de 1000 a 4000 mg/100 g de polpa, dependendo da cultivar e fase de maturação, sendo de 20 a 30 vezes superior ao teor de ácido ascórbico de frutas cítricas, como laranja e limão (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; MERCALI et al., 2014).

O Brasil é mundialmente o maior produtor, consumidor e exportador de acerola. A região Nordeste do Brasil é responsável por mais de 25% da produção nacional (CAVICHOLI et al., 2014; FIGUEIREDO NETO et al., 2014; GUEDES et al., 2022). A maior parte da produção é destinada ao processamento para fabricação de polpa, sucos, chás, iogurtes, bebida láctea, isotônicos, xaropes, licores, geléias, sorvetes, barras nutritivas, comprimidos ou cápsulas para suplementação alimentar e catchups (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; ARAÚJO et al., 2013; JAESCHKE et al., 2016).

O consumo de acerolas na forma *in natura* ainda é baixo pela alta perecibilidade (MAZARO et al., 2015; ARAÚJO et al., 2017). A espécie possui floração desuniforme, dificultando a determinação do ponto de colheita (CALGARO; BRAGA, 2012; DELVA; SCHNEIDER, 2013). As perdas estimadas na fase de pós-colheita podem atingir 40% da produção (SOUZA et al., 2017; REZENDE et al., 2018). Por ser uma fruta de amadurecimento climatérico, apresenta maior perda de umidade, que acelera o processo de senescência e deterioração (MAZARO et al., 2015). A fragilidade da casca também expõe as frutas a danos mecânicos durante o transporte, ou injúrias externas quando armazenadas em temperaturas acima de 20°C ou abaixo de 5°C e umidades relativas abaixo de 85% (MOHAMMED, 2011). Essas alterações reduzem o valor comercial e tornam as frutas susceptíveis a podridões na fase de pós-colheita, normalmente associadas a presença dos

fungos *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Colletotrichum gloeosporioides* (MOHAMMED, 2011).

As limitações na fase de colheita e pós-colheita, levam os produtores a comercializarem as acerolas próximo ao local de cultivo, ou destiná-las ao beneficiamento, como forma de reduzir as perdas, restringindo as opções de negócios e a comercialização de frutas frescas. As técnicas de conservação da acerola *in natura* para minimização de injúrias, podridões e aumento da vida útil no armazenamento, restringem-se a tratamentos preventivos, como a utilização de diferentes temperaturas (RIBEIRO; FREITAS, 2020) e luz pulsada (MACEDO et al., 2023), aplicação de ácido giberélico (GA₃) (ANTUNES et al., 2006; SOUZA et al., 2017), benzilaminopurina (BAP)/citocinina (ANTUNES et al., 2006) e ácido salicílico (MAZARO et al., 2015). Além disso, existem ainda estudos sobre a utilização de revestimentos das frutas com biofilme a base de quitosana (NOGUEIRA et al., 2021), alginato/polissacarídeo (AZEREDO et al., 2012), fécula de mandioca (MACIEL et al., 2014; RODRIGUES et al., 2022), gelatina e óleos comestíveis (RODRIGUES et al., 2022). O uso de sanitizantes independente de sua composição química, ou forma de aplicação, ainda é inexplorado cientificamente para essa cultura, despertando o interesse por estudos com esse foco.

Nos últimos anos, o ozônio (O₃) tem se destacado como uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento pós-colheita de frutas. Dentre os agentes oxidantes é o segundo maior em potencial oxidativo, inferior apenas ao flúor (GUZEL-SEYDIM et al., 2004). Ao se decompor, o ozônio transforma-se em oxigênio, isentando os produtos e o ambiente de resíduos tóxicos (DUBEY et al., 2022; PANDISELVAM et al., 2022). Comportamento que enquadra o ozônio na classificação *GRAS* (*Generally Recognized as Safe*), pelo *United States Department of Agriculture* (USDA) (ZHOU et al., 2018; DUBEY et al., 2022). Essas características colocam o ozônio em destaque em relação à sanitizantes convencionais, como por exemplo, o cloro, que tem como subprodutos os compostos organoclorados, os trihalometanos (THMs) e os ácidos haloacéticos (HAAs), substâncias com potencial mutagênico e cancerígeno aos consumidores (PASCUAL et al., 2007).

A atividade antimicrobiana do ozônio aplicado por imersão em água ozonizada, pode ser intensificada quando associado ao uso de microbolhas na faixa de 1 a 100 µm e especialmente abaixo de 50 µm, por aumentarem a solubilidade e tempo de retenção do ozônio e a relação entre superfície e volume (LIU et al., 2023). As microbolhas normalmente são injetadas na água por sistema de fluxo turbulento, cisalhamento mecânico, dissolução pressurizada e geradores de microbolhas com desprendimento forçado de bolhas (JOHN et al.,

2022). Estudos anteriores indicam a eficiência da água ozonizada em sistema de microbolhas, na remoção de pesticidas e preservação da qualidade em maçã (LI et al., 2021), morango, cereja e damasco (LI et al., 2024).

Nesse sentido, o uso de água ozonizada em sistema de microbolhas representa uma alternativa eficiente na sanitização de acerolas. Até o momento, não existem estudos científicos sobre o uso de ozônio na desinfecção e manutenção da qualidade físico-química de acerolas *in natura* ao longo do armazenamento. Considerando-se de uma forma geral, a eficiência já comprovada do ozônio na sanitização e aumento da vida útil de outras frutas e hortaliças altamente perecíveis, este estudo teve como objetivo determinar os efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na sanitização e qualidade pós-colheita de acerolas *in natura*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção das frutas e caracterização inicial

As acerolas foram adquiridas de uma produção familiar na cidade de Viçosa-MG, Brasil. As frutas foram colhidas maduras e transferidas no mesmo dia em caixas de papelão e protegidas do sol, para o laboratório de pós-colheita (DEA-UFV). As acerolas utilizadas no experimento não receberam nenhum tratamento pós-colheita anterior e apresentavam os estágios de maturação 4 (casca 60% rosa-alaranjado e 40% vermelho) e 5 (casca vermelho uniforme) (MOHAMMED, 2011).

Antes do processo de ozonização, as acerolas foram selecionadas conforme a cor externa, descartando-se frutas com presença de injúrias na casca. As frutas foram aferidas para caracterização físico-química inicial, retornando valores médios de 0,51 N para a firmeza, 10,60 °Brix para o teor de sólidos solúveis totais, 2,90 para o pH, 2,53 % de ácido cítrico para a acidez total titulável, 1673,14 mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa para a vitamina C, 22,43 h* para a tonalidade da polpa e 11,90 C* para a saturação da polpa.

2.2 Condições de tratamento com ozônio

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (ozônio, oxigênio e controle) e nas subparcelas os tempos de armazenamento (0, 3, 6 e 9 dias), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O ensaio experimental foi composto por sete tratamentos: um controle, que correspondeu a frutas não tratadas (T1), três tempos de exposição a água ozonizada (5,60 mg L⁻¹ de O₃) -20, 40 e 60 min (T2, T3 e T4) e três tempos de exposição ao oxigênio em água - 20, 40 e 60 min (T5, T6 e T7).

A obtenção do gás ozônio ocorreu por meio de um concentrador de O₃ modelo M10® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brazil) com capacidade de produção de 10 g h⁻¹, produzido por efeito corona (descarga de barreira dielétrica-DBD) a 25 °C. O oxigênio (pureza de 90%) utilizado no processo de produção do gás ozônio foi proveniente de um concentrador de oxigênio modelo EverFlo™ OPI 5LPM (Philips Respironics Inc., México). A vazão volumétrica de oxigênio utilizada para alimentar o gerador de ozônio foi de 1,5 L min⁻¹, aferida por um medidor de vazão modelo MF5700® (Siargo Ltd, Chengdu, Sichuan, China).

A quantificação da concentração de entrada do ozônio foi feita pelo método iodométrico de titulação indireta (RAKNESS et al., 1996), de acordo com a International Ozone Association (IOA). Para o procedimento, o gás ozônio foi borbulhado por 15 segundos em 50 mL de solução de iodeto de potássio (KI 2%) em um erlenmeyer de 125,0 mL, logo após acrescentou-se 2,5 ml de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e titulou-se com solução padronizada de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ até atingir tom amarelo claro, posteriormente adicionou-se 1 mL de solução de Amido ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) 1% e titulou-se novamente com tiosulfato até atingir ponto de viragem.

Processo do tratamento com ozônio e oxigênio: O ozônio e o oxigênio foram incorporados na água através de um gerador de microbolha modelo MB600® (myozone, Jaguariúna, São Paulo, Brasil). O gerador de microbolha era composto por uma bomba interligada a um vaso de pressão. Na admissão da bomba havia um injetor do tipo tubo de venturi que permitia a injeção de gás ozônio e oxigênio no sistema. A mistura de ozônio, oxigênio e água era então direcionada para o vaso de pressão onde a pressão interna era controlada por uma válvula (V1) que restringia a passagem da água até atingir a pressão de trabalho igual a $8,43 \text{ kgf cm}^{-2}$. Nesta pressão de trabalho, a vazão volumétrica de circulação da água era de $0,12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. No vaso de pressão, as bolhas de gás formadas na injeção pelo tubo de venturi eram fracionadas para a formação das microbolhas. Para evitar acúmulo de gás (ozônio e oxigênio) no vaso de pressão uma válvula (V2) permitia a passagem do excesso de ozônio e oxigênio que não era incorporado na água. O recalque da bomba era direcionado ao tanque onde foi realizada a imersão das frutas de acerola.

O volume de água utilizado em cada tratamento das frutas de acerola foi de 15 L. Este volume de água foi contido em um tanque com capacidade para 30 L (53,0 cm comprimento x 19,5 cm largura x 26,5 cm altura) (Figura 1) que estava interligado ao gerador de microbolha (Figura 2). A concentração de entrada do gás ozônio na saída do gerador na água foi de 12 mg L^{-1} , permitindo a obtenção de $5,60 \text{ mg L}^{-1}$ de ozônio dissolvido em água após 15 min, que correspondeu a uma incorporação de 46,66%. Para quantificação do ozônio dissolvido na água, realizou-se uma adaptação ao método iodométrico, adicionando-se 50 mL de água ozonizada ao erlenmeyer contendo as soluções de iodeto de potássio (KI 2%) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o processo de titulação foi realizado da mesma forma.

Durante o processo de tratamento com ozônio ou oxigênio, a temperatura da água era monitorada e permaneceu em torno de $7 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Para individualização dos tratamentos e imersão das acerolas em água, as frutas foram acondicionadas em redes plásticas, preenchidas com 1,1 kg de acerola. As redes plásticas contendo as acerolas eram retiradas do tanque em

ordem cronológica de tempo, à medida que se completava o tempo de imersão por tratamento. Após 20 min retirou-se a primeira rede e depois de 40 min e 60 min a segunda e terceira rede, respectivamente. Após o tratamento com ozônio e oxigênio, as acerolas foram dispostas sobre uma mesa previamente higienizada para secagem em temperatura ambiente por 30 min a 25 °C.

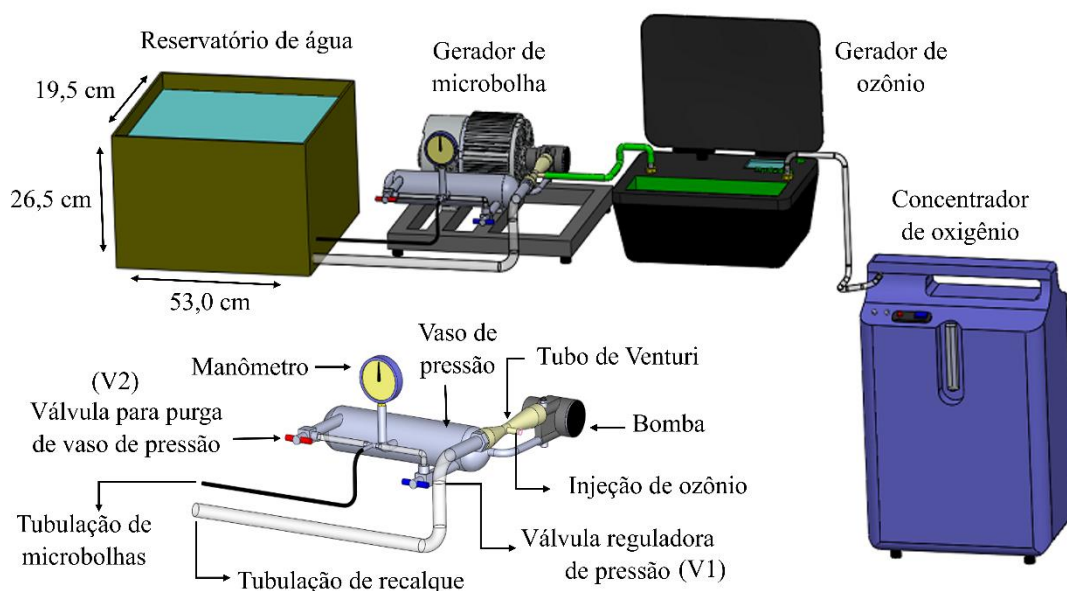


Figura 1. Esquema experimental adotado para ozonização da água, com incorporação de ozônio a partir de um gerador de microbolha.

2.3 Armazenamento das acerolas após a ozonização

Amostras de acerola submetidas aos tratamentos de ozônio, oxigênio e amostras controle, foram acondicionadas em bandejas retangulares de poliestireno (15 cm x 15 cm) vedadas com filme PVC (Policloreto de Vinila), pesadas e identificadas de acordo com os tratamentos. Cada parcela do experimento foi constituída por uma bandeja contendo $80 \pm 0,5$ gramas de acerola. O armazenamento ocorreu durante 9 dias em ambiente refrigerado com temperatura de 5 °C e umidade relativa de 87%. As análises microbiológicas e físico-químicas, aconteceram imediatamente após o tratamento das frutas no dia 0 e depois de 3, 6 e 9 dias de armazenamento.

2.4 Análise microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas em câmara de fluxo laminar vertical modelo PCR FLV-1266/4 (Filterflux, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Em cada parcela 10 g de acerola eram retirados na parte superficial e lateral das frutas. Os fragmentos de acerola eram transferidos para sacos plásticos esterilizados, macerados e diluídos em 90 mL de solução salina 2% previamente esterilizada, que correspondeu a diluição 10^{-1} . A partir dessa diluição foi possível obter as diluições posteriores. Para mesófilos aeróbios, considerou-se as diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} e para fungos filamentosos e leveduras, 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} .

Os mesófilos foram plaqueados pelo método de inoculação em profundidade (*Pour-Plate*). Alíquotas de 1 mL foram pipetadas em placa de petri e em seguida adicionado meio de cultura líquido (*Plate Count Agar-PCA*). Para o plaqueamento de fungos filamentosos e leveduras, utilizou-se o método de espalhamento em placa (*Spread-Plate*). Alíquotas de 0,1 mL (100 microlitros, μ l) foram pipetadas em meio de cultura sólido (*Potato Dextrose Agar-PDA*) acidificado com ácido tartárico 10% e posteriormente, o material foi espalhado com alça de drigalski.

As placas foram incubadas em câmaras BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). As placas de mesófilos permaneceram na câmara por 48 h (2 dias) a 30°C e as placas de fungos filamentosos e leveduras por 120 h (5 dias) a 25 °C. Após o período de incubação, realizava-se a contagem dos microrganismos, considerando-se as faixas de 25 a 250 colônias para mesófilos aeróbios e de 15 a 150 colônias para fungos filamentosos e leveduras. Os resultados obtidos nas contagens dos microrganismos foram expressos em log UFC g⁻¹. Os critérios adotados nas análises microbiológicas estão de acordo com a Instrução Normativa número 62, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003).

2.5 Análises de qualidade

Os critérios adotados nas avaliações físico-químicas seguem as recomendações do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e Commission International de L'Eclairage (CIE, 2004). As análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total, foram feitas segundo a metodologia de Asami et al., (2003), com modificações. Para mensuração do teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, vitamina C, cor da polpa, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total, as sementes e restos de pedúnculo e receptáculo floral eram extraídos e o material restante triturado com um Mixer-processador de alimentos modelo

RI1341 (Philips Walita, China). As análises de firmeza, pH, acidez total titulável, vitamina C, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total, foram feitas em triplicata e as de sólidos solúveis e cor da polpa, em quadruplicata.

2.5.1 Perda de massa fresca (%)

Os percentuais da perda de massa fresca foram obtidos através da diferença entre a massa inicial de cada amostra na implantação do experimento (dia 0) e aos 3, 6 e 9 dias de armazenamento. O resultado foi multiplicado por 100 e dividido pela massa inicial (Equação 1).

$$WLt(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

Na fórmula, o percentual de perda de massa fresca do dia avaliativo é representado por $WLt(\%)$, a massa inicial da amostra no dia 0 por W_0 e a massa da amostra dentro do dia avaliado por W_t . Em cada dia avaliativo, realizava-se a pesagem das amostras em balança semi analítica digital com precisão de 1×10^{-2} modelo BK 8000 (Gehaka, São Paulo, Brasil).

2.5.2 Firmeza (Newton)

Em cada parcela, três frutas de acerola foram selecionadas aleatoriamente e aferidas para determinação da firmeza, com auxílio de um penetrômetro digital modelo PTR 300 Fruit Hardness Tester (Instrutherm, São Paulo, Brasil). Utilizou-se uma ponta de penetrômetro de 3 mm para perfuração das frutas em quatro pontos: sentido longitudinal (base e ápice) e transversal (de um lado e do outro). A força de compressão foi expressa em Newtons (N).

2.5.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)

A quantificação do teor de sólidos solúveis foi feita por refratômetro digital modelo Poket Refractometer PAL-3 (Atago, Tóquio, Japão), realizando-se quatro leituras por parcela. Nas medições, uma gota de polpa triturada era utilizada para leitura. Os valores finais foram expressos em °Brix.

2.5.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para determinação do pH utilizou-se um pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil). As leituras eram feitas em solução contendo 5 g de polpa triturada e 50 mL de água destilada.

2.5.5 Acidez total titulável (ácido cítrico)

O método da potenciometria foi utilizado para aferir a acidez total titulável das acerolas (% de ácido cítrico em 100 g de polpa). As análises foram feitas com auxílio de um pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil). Em solução contendo 5 g de polpa triturada e 50 mL de água destilada titulava-se uma solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol L⁻¹), até o pH da solução atingir 8,2. O cálculo da acidez total titulável foi feito a partir do volume de Hidróxido de Sódio (NaOH 0,1 mol L⁻¹) gasto na titulação, multiplicado por seu fator de correção e pelo valor fixo de 10, dividido pela massa da amostra (Equação 2).

$$\text{Ácido cítrico (\% percentagem por 100 g)} = \frac{V \times f \times 10}{m} \quad (2)$$

Em que: a letra V corresponde ao volume (mL) de Hidróxido de Sódio (NaOH 0,1 mol L⁻¹) gasto na titulação, a letra f corresponde ao fator de correção e a letra m corresponde a massa da amostra (g).

2.5.6 Vitamina C (ácido ascórbico)

A vitamina C foi obtida a partir da titulação com solução de iodato de potássio (KIO₃) (fator estequiométrico de 8,806) e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa. O iodato era titulado em solução contendo 10 g de polpa triturada, 50 mL de água destilada, 10 mL de ácido sulfúrico 20%, 1 mL de iodeto de potássio 10% e 1 mL de amido 1%. O ponto de viragem foi determinado pelo indicador de amido, ao atingir coloração marrom-violácea. A partir do volume (mL) de iodato de potássio gasto na titulação, foi possível calcular os teores de ácido ascórbico (Equação 3).

$$\text{Ácido ascórbico (mg 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{100 \times V \times f}{m} \quad (3)$$

Na equação, o volume (mL) de iodato de potássio gasto na titulação é representado pela letra V, o fator estequiométrico da solução de iodato de potássio pela letra f e a massa da amostra (g) pela letra m.

2.5.7 Cor da polpa

A polpa triturada de cada parcela era vertida em embalagens de plástico transparente e quatro leituras realizadas, duas em cada lado da embalagem. As leituras de cor foram feitas com auxílio de colorímetro digital modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão). Com a obtenção das coordenadas L*, a* e b* calculou-se a diferença de cor (ΔE^*) (Equação 4), tonalidade (h^*) (Equação 5) e croma (C^*) (Equação 6).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (4)$$

$$h^* = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (6)$$

A luminosidade (branco e preto) é representada pela coordenada L*, a intensidade de cor vermelho e verde pela coordenada a* e a intensidade de cor amarelo e azul pela coordenada b*. As coordenadas L*, a*, b* obtidas na caracterização inicial da polpa são representadas por a₀, b₀ e L₀. A diferença de cor (ΔE^*), do dia 0 foi calculada em relação aos valores médios de L*, a* e b*, obtidos na caracterização inicial.

2.5.8 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total

2.5.8.1 Preparo dos extratos de acerola

Para o preparo dos extratos, realizou-se a pesagem de 1 g da polpa de acerola processada e adicionou-se 20 mL de solução extratória composta por água destilada, metanol e ácido acético nas proporções de 30:70:5 v/v. Os extratos foram homogeneizados por 20 min em uma incubadora Shaker modelo SL 222 (Solab, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 240 rpm de rotação e depois centrifugados por 20 min em uma centrífuga modelo Q222TM2 (Quimis, Diadema, São Paulo, Brasil) a 2000 rpm de rotação e o material sobrenadante retirado para o preparo das diluições. As análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total, foram feitas por colorimetria e espectrofotometria, utilizando-se o espectrofotômetro modelo Cirrus 80 ST (Femto, São Paulo capital, São Paulo, Brasil).

2.5.8.2 Compostos fenólicos totais (ácido gálico)

A determinação dos compostos fenólicos totais foi feita pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, por meio da oxidação de fenolatos em um complexo azul Mo-W. A solução de Folin-Ciocalteu foi diluída em água destilada na proporção 1:10 v/v. No preparo da solução de carbonato de sódio 7,5%, foram dissolvidos 7,5 g de reagente em 100 mL de água destilada e para a solução de ácido gálico utilizou-se 0,0101 g para 50 mL de água destilada. Os extratos de acerola foram diluídos dez vezes em água destilada (1 mL da solução extratória para 9 mL de água destilada) e uma alíquota de 0,6 mL era retirada e transferida para um tubo falcon, adicionando-se 3 mL da solução de Folin-Ciocalteu. A mistura foi agitada e permaneceu em repouso por 3 min, adicionando-se em seguida 2,4 mL de solução saturada de carbonato de sódio (7,5% m/v), agitando-se os tubos e deixando-os em repouso por 2 h no escuro. A curva analítica foi obtida a partir de uma solução estoque de ácido gálico (200 mg/L). Nas leituras espectrofotométricas utilizou-se o comprimento de onda de 760 nm. O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pela interpolação da absorbância das amostras contra a curva de calibração construída com padrão de ácido gálico (0; 30; 60; 90; 120 e 150 μ M) e os resultados expressos em mg de ácido gálico/100 g de polpa. O teor de compostos fenólicos totais foi calculado conforme a equação 7:

$$\text{TFT (mg de ácido gálico } 100\text{g}^{-1}) = \frac{\text{EAG X } 100}{\text{D. extrato}} \quad (7)$$

Em que: TFT = teor de fenólicos totais; EAG = equivalente em ácido gálico (obtido através da curva analítica) e D.extrato = diluição da amostra (g) ou tomada de ensaio para determinar (g).

2.5.8.3 Atividade antioxidante total pelo método ABTS

Na atividade antioxidante pelo método ABTS, analisou-se a capacidade de sequestro do radical livre de ABTS (2,2"-azino-bis/3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). Para o preparo da solução estoque de ABTS 7 mol L^{-1} foram dissolvidos 0,192 g de reagente em 50 mL de água destilada. A solução de persulfato de potássio 140 mM foi preparada na proporção de 0,3784 g para 10 mL de água destilada e a solução de Trolox 2 mM na proporção de 0,025 g de reagente para 50 mL de etanol PA. No preparo do radical de ABTS adicionou-se 5 mL da solução estoque de ABTS 7 mM a 88 μL de persulfato de potássio 140 mM e essa mistura foi mantida em ambiente escuro por 16 h para formação do radical ABTS. Após este período, 1 mL do radical foi diluído em 100 mL de etanol PA para obtenção de uma absorbância de $0,7 \text{ nm} \pm 0,05$ em espectrofotômetro a 734 nm. Os extratos de acerola foram diluídos duas vezes em água destilada em um balão volumétrico de 10 mL (5 mL da solução extratária e 5 mL de água destilada) e posteriormente retirou-se a alíquota de 30 μL que foi transferida para um tubo falcon, adicionando-se 3 mL da solução de ABTS. Após 6 min de incubação no escuro, realizou-se as leituras espectrofotométricas das amostras no comprimento de onda de 734 nm e o etanol PA foi utilizado como branco. A determinação da atividade antioxidante teve como base a curva de calibração construída com padrão de Trolox (100; 500; 1000; 1500 e 2000 μM). Os resultados obtidos foram expressos em Trolox $\mu\text{M}/100\text{g}$ de polpa (Trolox: ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico). A atividade antioxidante pelo método ABTS foi calculada através da equação 8:

$$\text{ABTS (}\mu\text{M de trolox } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{[\text{X}]_{\text{trolox}} (\mu\text{M}) \times \text{Volme total do extrato mL}}{\text{Massa da amostra (g)}} \quad (8)$$

2.5.8.4 Atividade antioxidante total pelo método DPPH

Na determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH, avaliou-se a capacidade de sequestro do radical livre de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), radical estável de coloração violeta. Para o preparo do radical DPPH foram dissolvidos 0,024 g de reagente em 100 mL de etanol PA. A solução estoque de DPPH foi preparada utilizando-se o radical de DPPH com etanol PA, na proporção de 10 mL de radical para 90 mL de etanol PA. No preparo da solução de Trolox 2 mM foram dissolvidos 0,025 g de reagente para 50 mL de etanol PA. Os extratos de acerola foram diluídos dez vezes em água destilada (1 mL da solução extratória para 9 mL de água destilada), retirando-se a alíquota de 150 µL, que foi misturada com 5,850 mL da solução de DPPH em tubo falcon. Após a homogeneização essa mistura permaneceu incubada no escuro por 15 min para estabilização da reação e em seguida, realizou-se as leituras espectrofotométricas em um comprimento de onda de 515 nm, utilizando-se etanol PA como branco. A determinação da atividade antioxidante foi baseada na curva de calibração construída com padrão de Trolox (50; 100; 200; 400; 600; 800 e 1000 µM). Os resultados finais foram expressos em Trolox µM/100g de polpa (Trolox: ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico). O cálculo da atividade antioxidante pelo método DPPH foi feito pela equação 9:

$$\text{DPPH } (\mu\text{M de trolox } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{[\text{X}]_{\text{trolox}} (\mu\text{M}) \times \text{Volme total do extrato mL}}{\text{Massa da amostra (g)}} \quad (9)$$

2.6 Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e regressão. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o software Sisvar 5.6. Para comparação do controle com os demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnet a 5% de probabilidade, por meio do programa Assistat 7.7. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't' de Student a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2/r^2 = \frac{\text{SQReg}}{\text{SQTrat}}$) e no comportamento do fenômeno em estudo, através do software Saeg 9.1. Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo.

3. RESULTADOS

3.1 Desinfecção das acerolas

No tempo zero, os valores obtidos para mesófilos aeróbios nos três tratamentos de ozônio (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4) e oxigênio por 20 e 40 min (T5, T6 e T7), estiveram abaixo de 4,00 log (UFC g⁻¹) (Tabela 1). Até o terceiro dia do armazenamento, o tratamento com oxigênio por 60 min (T7) apresentou maior incidência bacteriana em comparação com os demais tratamentos analisados, registrando-se nos dias avaliativos 0 e 3, os valores de 5,09 e 5,10 log (UFC g⁻¹). Entre os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4), as menores contaminações bacterianas observadas ao longo do armazenamento (dias 3, 6 e 9), ocorreram no tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min (T2).

A menor incidência de bolores e leveduras totais ao longo do armazenamento (dias 3, 6 e 9), foi obtida com o tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 60 min (T4), que retornou valores de 4,45, 4,63 e 4,73 log (UFC g⁻¹). Ainda assim, o tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min (T2) mostrou-se mais apropriado, tendo em vista que, neste tratamento a incidência de bolores e leveduras totais foi constatada somente a partir do sexto dia do armazenamento, já nos tempos de 60 e 40 min de exposição ao ozônio (T4 e T3), a presença destes microrganismos iniciou-se a partir dos dias 0 e 3, respectivamente.

Os resultados mostram que todos os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4) foram eficientes para reduzir a presença de bactérias e fungos ao longo do armazenamento, comparativamente aos três tratamentos com oxigênio (20, 40 e 60 min/T5, T6 e T7) e ao controle (T1). Isto porque, a partir do sexto dia de armazenamento, não foi mais possível quantificar os microrganismos destes tratamentos (oxigênios e controle/T5, T6, T7 e T1) pela técnica adotada, por ultrapassarem o limite máximo de colônias.

Os resultados demonstraram que quanto mais longo foi o tempo de exposição ao ozônio (T2, T3 e T4), mais precoce foi a incidência de fungos ao longo do armazenamento. No dia 0, o tempo de 60 min do ozônio (T4) e oxigênio (T7) já apresentava contaminações fúngicas, com valores de 4,32 e 4,41 log (UFC g⁻¹), respectivamente. Nos demais tratamentos (T1, T2, T3, T5 e T6), os valores obtidos para fungos filamentosos e leveduras no dia 0, estiveram abaixo da faixa de contagem (15 a 150 colônias), retornando valores inferiores a 2,0 log (UFC g⁻¹). Dentre os tratamentos com água ozonizada (T2, T3 e T4), só foi possível contabilizar a contaminação microbiológica nos tempos de 40 e 20 min (T3 e T2), a partir do terceiro e sexto dia do armazenamento, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios obtidos para mesófilos aeróbios e fungos filamentosos e leveduras em acerolas tratadas com ozônio e oxigênio dissolvido em água, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Trat.	Mesófilos aeróbios (log UFC g ⁻¹)				Trat.	Fungos filamentosos e leveduras (log UFC g ⁻¹)			
	0	3	6	9		0	3	6	9
T1	4,42	4,03	Inc.	Inc.	T1	<2,0 log	5,04	Inc.	Inc.
T2	3,65	<2,0 log	4,79	3,40	T2	< 2,0 log	<2,0 log	5,76	6,77
T3	3,70	4,92	5,52	4,84	T3	<2,0 log	5,32	6,04	6,02
T4	3,43	4,53	4,25	4,23	T4	4,32	4,45	4,63	4,73
T5	3,76	5,54	Inc.	Inc.	T5	<2,0 log	5,36	Inc.	Inc.
T6	3,71	5,19	Inc.	Inc.	T6	<2,0 log	6,23	Inc.	Inc.
T7	5,09	5,10	Inc.	Inc.	T7	4,41	5,50	Inc.	Inc.

Tratamentos: T1-Controle; T2-Ozônio/20 min; T3-Ozônio/40 min; T4-Ozônio/60 min; T5-Oxigênio em água/20 min; T6-Oxigênio em água/40 min; T7-Oxigênio em água/60 min. Inc.: Incontável, acima do limite.

3.2 Qualidade pós-colheita

3.2.1 Perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C

A Tabela 2 apresenta os valores médios da perda de massa fresca (%), firmeza (N), sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%) e vitamina C (ácido ascórbico) das acerolas ao longo do armazenamento. Foram observados efeitos significativos ($P < 0,05$) dos tratamentos sobre as variáveis, com exceção da perda de massa fresca. As variáveis potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C, apresentaram diferenças entre os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) e em relação ao controle (T1), em todos os dias avaliativos.

Em todos os tratamentos analisados (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7), a perda de massa fresca foi abaixo de 2,0% no terceiro dia de armazenamento e próxima de 2,5 e 4,0% no sexto e nono dia do armazenamento, respectivamente. Para a firmeza, efeitos significativos ($P < 0,05$) foram verificados somente aos 3, 6 e 9 dias do armazenamento. O tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 60 min (T4), apresentou as maiores médias para a firmeza em todos os dias do armazenamento. Ao se comparar com o controle (T1), diferenças foram observadas nos tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7) com três dias de armazenamento e nos tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4), com seis e nove dias do armazenamento. Imediatamente após a ozonização (dia 0), todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) apresentaram valores próximos de 0,50 N para a firmeza. A partir do terceiro dia do armazenamento e

especialmente entre o sexto e nono dia, constatou-se um decréscimo acentuado nos valores de firmeza. Ao final do armazenamento (dia 9), a força de compressão variou de 0,25 a 0,37 N nos tratamentos com ozônio (T2, T3 e T4) e foi igual ou abaixo de 0,14 N nos demais tratamentos (T1, T5, T6 e T7).

Foram registrados valores próximos de 9,00 ou 10,00 °Brix para o teor de sólidos solúveis totais entre os dias avaliativos, para todos os tratamentos analisados (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7). Os maiores picos foram observados no terceiro dia de armazenamento. Neste período, o teor de sólidos solúveis totais variou de 10,30 a 11,27 °Brix. Entre o terceiro e nono dia do armazenamento, o tratamento de oxigênio por 20 min (T5), apresentou as maiores médias. Em comparação ao controle (T1), diferenças foram verificadas apenas no tempo 0 e no sexto e nono dia do armazenamento.

Até o terceiro dia do armazenamento, o pH das acerolas foi abaixo de 3,00 para todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7). Entre o sexto e nono dia do armazenamento, constatou-se aumentos nos valores de pH, que atingiu valores de até 3,10. Com o aumento dos valores de pH ao longo do armazenamento, constatou-se de forma geral, decréscimos na acidez total titulável. Inicialmente (dia 0) a acidez total titulável foi acima de 2,0% para todos os tratamentos analisados (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) e ao final do armazenamento (dia 9), a acidez total titulável foi igual ou abaixo de 1,87% para todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7).

Imediatamente após a ozonização (dia 0), todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) apresentaram vitamina C acima de 1300 mg de ácido ascórbico em 100 g de fruta. Neste dia avaliativo, as médias mais baixas foram observadas nos tratamentos de oxigênio (20, 40 e 60 min/T5, T6 e T7) e as mais altas no controle (T1) e nos tratamentos de água ozonizada (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4). Ao se analisar os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4) e oxigênio (T5, T6 e T7), verifica-se que entre o terceiro e nono dia do armazenamento, o tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min (T2) apresentou as maiores médias para a vitamina C. Os tratamentos de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 e 40 min (T3 e T4), foram os mais eficientes para preservar a vitamina C dentro da faixa ideal, apresentando valores médios acima de 1000 mg até o nono e sexto dia do armazenamento, respectivamente. O uso de oxigênio (20, 40 e 60 min/T5, T6 e T7), ou ozônio por 60 min (T4) preservou essa variável somente até o terceiro dia do armazenamento. Estes tratamentos (T4, T5, T6 e T7) também foram menos eficientes em comparação ao controle (T1), que manteve a vitamina C dentro de faixas adequadas até o sexto dia do armazenamento.

Tabela 2. Valores médios da perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C.

Perda de massa fresca (%)					Firmeza (N)				
Armazenamento (dias)					Armazenamento (dias)				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	-	1,25 a	2,41 a	3,91 a	T1	0,51 a	0,52 ab	0,27 c	0,11 c
T2	-	1,42 a	2,67 a	3,95 a	T2	0,46 a	0,46 abc	0,46 ab*	0,27 b*
T3	-	1,37 a	2,49 a	3,96 a	T3	0,48 a	0,48 abc	0,35 bc	0,25 b*
T4	-	1,12 a	2,78 a	4,19 a	T4	0,55 a	0,54 a	0,52 a*	0,37 a*
T5	-	1,38 a	2,54 a	4,15 a	T5	0,51 a	0,29 d*	0,29 c	0,11 c
T6	-	1,55 a	2,54 a	4,01 a	T6	0,52 a	0,38 bcd*	0,30 c	0,13 c
T7	-	1,21 a	2,41 a	3,97 a	T7	0,41 a	0,34 cd*	0,35 bc	0,14 c
Sólidos solúveis totais (°Brix)					Potencial Hidrogeniônico (pH)				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	10,60 a	10,83 ab	9,57 c	9,30 c	T1	2,90 b	2,70 c	3,10 a	3,10 a
T2	9,70 b*	10,47 b	9,77 bc	9,33 c	T2	2,57 d*	2,70 c	2,90 b*	2,90 c*
T3	8,73 d*	10,67 ab	9,50 c	10,10 b*	T3	2,77 c*	2,80 b	2,87 b*	3,00 b
T4	9,20 c*	10,80 ab	10,10 b*	10,17 ab*	T4	2,80 c*	2,60 d	3,10 a	3,00 b
T5	10,00 b*	11,27 a	10,57 a*	10,67 a*	T5	2,90 b	2,90 a*	3,10 a	3,00 b
T6	9,83 b*	10,63 ab	10,07 b*	10,63 ab*	T6	2,90 b	2,90 a*	3,07 a	3,00 b
T7	9,70 b*	10,30 b	9,10 d*	9,10 c	T7	3,00 a*	2,90 a*	3,10 a	3,00 b
Acidez total titulável (%)					Vitamina C (ácido ascórbico)				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	2,53 ab	2,93 a	2,11 a	1,85 a	T1	1673,14 a	1585,08 a	1135,97 b	951,05 b
T2	2,55 a	2,18 b*	2,07 a	1,81 a	T2	1617,37 ab	1435,38 b*	1241,65 a*	1121,30 a*
T3	2,32 c*	1,95 e*	1,78 bc*	1,58 c*	T3	1661,40 a	1100,75 d*	1012,69 c*	789,60 c*
T4	2,53 ab	2,09 c*	1,83 b*	1,69 b*	T4	1602,69 ab	1138,91 c*	883,54 d*	786,67 c*
T5	2,44 b	1,54 f*	1,87 b*	1,59 c*	T5	1361,99 bc*	1091,94 d*	821,89 e*	636,97 d*
T6	2,22 c*	2,03 d*	1,69 c*	1,57 c*	T6	1479,41 abc	1015,63 e*	774,93 e*	545,97 e*
T7	2,03 d*	2,07 cd*	1,88 b*	1,87 a	T7	1309,16 c*	1162,39 c*	983,34 c*	968,66 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Ozônio/20 min; T3-Ozônio/40 min; T4-Ozônio/60 min; T5-Oxigênio em água/20 min; T6-Oxigênio em água/40 min; T7-Oxigênio em água/60 min.

Os comportamentos da perda de massa fresca (%), firmeza (N), sólidos solúveis totais (°Brix), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (%) e vitamina C (ácido ascórbico), obtidos obtidos para o controle (T1) e também para o ozônio (T2, T3 e T4) e oxigênio (T5, T6 e T7) em função do tempo de armazenamento e tempos de exposição, são representados pelas equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2/r^2), descritos na Tabela 3. Os tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para os fatores tempo de armazenamento e tempos de exposição, foram descritos pela média geral.

A perda de massa fresca, foi influenciada significativamente apenas pelo tempo de armazenamento ($P<0,01$), observando-se efeito linear para este fator, tanto no ozônio (T2, T3 e T4) como no oxigênio (T5, T6 e T7). A cada dia avaliativo, o acréscimo médio no percentual da perda de massa foi igual ou próximo de 0,45% para todas as condições estudadas (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7). Para a variável firmeza, foram obtidos efeitos quadráticos nos tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4), tanto para tempo de armazenamento ($P<0,01$), como para tempos de exposição ($P<0,05$). Nos tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7), a firmeza foi influenciada significativamente apenas pelo tempo de armazenamento, apresentando efeito linear para este fator ($P<0,01$). As reduções médias observadas para a firmeza nos tratamentos com ozônio (T2, T3 e T4) a cada dia avaliativo foram de 0,014 N, inferior ao oxigênio (T5, T6 e T7) e ao controle (T1), que apresentaram perdas médias de 0,036 e 0,047 N, respectivamente.

Os efeitos significativos encontrados para o potencial hidrogeniônico (pH) e acidez total titulável (%) tanto para o ozônio (T2, T3 e T4), como para o oxigênio (T5, T6 e T7), estiveram relacionados apenas ao tempo de armazenamento ($P<0,01$), apresentando comportamento linear. Quanto a vitamina C, essa variável foi influenciada significativamente pelo tempo de armazenamento ($P<0,01$) e tempos de exposição ($P<0,01$), observando-se efeito linear para estes dois fatores. O menores decréscimos no teor de ácido ascórbico foram observados nos tratamentos contendo ozônio (T2, T3 e T4). As reduções médias foram de 62,74 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido ascórbico a cada dia avaliativo, inferior ao oxigênio (T5, T6 e T7) e controle (T1), com reduções médias de 74,29 e 87,17 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido ascórbico, respectivamente. Os coeficientes de determinação (r^2) obtidos para a vitamina C, variaram de 0,8178 a 0,9398.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2/r^2) para perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, acidez total titulável e vitamina C de acerolas, em função do tempo de armazenamento (TE) e tempos de exposição (TEMP).

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Perda de massa fresca (%)	Controle	$\hat{y}_i = -0,144442 + 0,4447^{**}TE$	0,9422
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = -0,07661 + 0,45513^{**}TE$	0,9884
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = -0,02336 + 0,44007^{**}TE$	0,9836
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Firmeza (N)	Controle	$\hat{y}_i = 0,567 - 0,04766^{**}TE$	0,8827
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 0,609611 + 0,01487^{ns}TE - 0,0040432^{**}TE^2 - 0,00977^{*}TEMP + 0,0001468^{*}TEMP^2$	0,9312
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 0,4768 - 0,03622^{**}TE$	0,8707
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Sólidos solúveis totais (%)	Controle	$\hat{y}_i = 10,85 - 0,17222^{*}TE$	0,7806
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 9,87$	-
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 10,15$	-
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Potencial hidrogeniônico (pH)	Controle	$\hat{y}_i = 2,95$	-
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 2,68 + 0,03407^{**}TE$	0,5467
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 2,98$	-
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Acidez total titulável	Controle	$\hat{y}_i = 2,35$	-
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 2,41 - 0,08377^{**}TE$	0,8503
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 2,1587 - 0,05754^{**}TE$	0,5380
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Vitamina C	Controle	$\hat{y}_i = 1728,62 - 87,1794^{*}TE$	0,9398
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 1804,74 - 62,742^{**}TE - 7,8764^{**}TEMP$	0,8753
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 1347,02 - 74,296^{**}TE$	0,8178

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t de Student. Tratamentos: T1-Controle; T2-Ozônio/20 min; T3-Ozônio/40 min; T4-Ozônio/60 min; T5-Oxigênio em água/20 min; T6-Oxigênio em água/40 min; T7-Oxigênio em água/60 min.

3.2.2 Cor da polpa, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total (ABTS e DPPH)

Na tabela 4 são descritos os valores médios da diferença de cor (Dif*), tonalidade de cor (h*), saturação de cor (C*), compostos fenólicos totais (ácido gálico) e atividade antioxidante total (ABTS e DPPH) da polpa de acerola ao longo do armazenamento. As variáveis foram influenciadas significativamente ($P < 0,05$) pelos tratamentos. Todas as características apresentaram diferenças entre os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7) e em relação ao controle (T1), ao longo do armazenamento.

Imediatamente após o tratamento das acerolas (dia 0), as maiores médias para diferença de cor da polpa (Dif*) foram observadas nos três tratamentos de ozônio (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4). Entre o terceiro e nono dia do armazenamento, o tratamento de oxigênio por 60 min (T7), resultou em maiores médias (4,07; 6,60 e 14,23 Dif*), comparativamente aos demais tratamentos (T2, T3, T4, T5 e T6) e ao controle (T1). Para a tonalidade de cor, observa-se que entre o terceiro e sexto dia do armazenamento, todos os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4) e oxigênio (T5, T6 e T7) se diferenciaram do controle (T1), resultando em maiores valores médios para o ângulo Hue. Ao final do armazenamento (dia 9), os três tratamentos de ozônio (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4) apresentaram as maiores médias para a tonalidade de cor (40,44; 42,36 e 40,25 h*), em relação aos tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7) e ao controle (T1). Quanto a saturação de cor, frutas expostas ao ozônio em todos os tempos de imersão (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4), apresentaram-se mais saturadas após a ozonização no dia 0 (15,09; 13,80 e 14,83 C*). Entretanto entre o terceiro e nono dia do armazenamento, a maior saturação de cor foi verificada no tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 60 min (T4), apresentando médias superiores (17,09; 15,93 e 23,17 C*) em relação aos outros tratamentos analisados (T1, T2, T3, T5, T6 e T7).

Logo após o tratamento das acerolas no dia 0, verificou-se que os três tempos de exposição ao ozônio (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4) refletiram em maior biodisponibilidade de compostos fenólicos totais, em comparação com o controle (T1) e os tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7), resultando em valores acima de 2100,00 mg de ácido gálico 100 g⁻¹ de polpa. Imediatamente após a ozonização (dia 0), os tempos de exposição ao ozônio (T2, T3 e T4) e oxigênio por 60 min (T7) resultaram em maior atividade antioxidante pelo método ABTS (9204,84 e 9323,78 Trolox μM 100 g⁻¹ de polpa). Quanto ao método DPPH, a maior atividade antioxidante do dia 0, foi obtida com o uso de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min/T2 (893,39 Trolox μM 100 g⁻¹ de polpa). Ao se analisar os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4) e

oxigênio (T5, T6 e T7), observa-se que do terceiro ao nono dia do armazenamento, o tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min (T2) apresentou as maiores médias para compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total pelo dois métodos utilizados.

Tabela 4. Valores da diferença de cor, tonalidade de cor, saturação de cor, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total.

Diferença de cor (Dif*)					Tonalidade de cor (h*)				
Armazenamento (dias)					Armazenamento (dias)				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	0,83 d	2,27 b	4,83 b	10,17 c	T1	22,43 e	26,06 c	26,96 e	33,04 de
T2	4,19 a*	2,21 b	2,96 cde*	12,41 b*	T2	24,92 bc*	28,21 b*	28,72 cd*	40,44 b*
T3	3,23 b*	2,72 ab	2,14 e*	14,11 a*	T3	27,75 a*	28,24 b*	30,04 b*	42,36 a*
T4	4,06 ab*	3,57 ab	4,00 bc	14,16 a*	T4	23,95 d*	30,41 a*	32,22 a*	40,25 b*
T5	1,85 c*	2,42 b	2,36 de*	10,92 c	T5	24,55 bcd*	29,73 ab*	28,39 d*	34,49 c*
T6	0,94 d	3,51 ab	3,29 cd*	11,01 c	T6	25,26 b*	28,40 b*	28,98 cd*	33,74 cd
T7	1,12 cd	4,07 a*	6,60 a*	14,23 a*	T7	24,28 cd*	29,03 ab*	29,58 bc*	32,48 e
Saturação de cor (C*)					Compostos fenólicos totais				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	11,90 cd	13,55 d	15,61 a	17,56 c	T1	2392,98 ab	1727,81 a	1481,28 ab	1412,35 ab
T2	15,09 a*	15,71 b*	15,56 a	22,57 a*	T2	2672,61 a	1686,00 a	1503,89 a	1487,73 a
T3	13,80 b*	15,70 b*	12,47 c*	22,96 a*	T3	2154,00 b	1363,68 c*	1268,81 c*	1214,07 bc
T4	14,83 a*	17,09 a*	15,93 a	23,17 a*	T4	2537,98 ab	1547,42 b*	1415,32 b	1292,37 ab
T5	13,38 b*	13,14 d	13,50 bc*	19,34 b*	T5	1617,19 c*	1525,00 b*	1475,75 ab	1041,18 c*
T6	12,11 c	14,78 bc*	13,51 b*	17,98 c	T6	1604,04 c*	1520,04 b*	1451,89 ab	1365,30 ab
T7	11,16 d	14,15 cd	15,86 a	20,65 b*	T7	1517,11 c*	1492,39 b*	1481,05 ab	1415,84 ab
Atividade antioxidante total (ABTS)					Atividade antioxidante total (DPPH)				
Tratamento	0	3	6	9	Tratamento	0	3	6	9
T1	9814,48 a	7719,56 abc	7433,29 ab	6943,30 ab	T1	429,74 d	245,06 e	217,86 d	170,68 c
T2	8656,72 b*	8536,92 a	8199,30 a	6665,47 b	T2	893,39 a*	575,17 a*	429,33 a*	392,19 a*
T3	7206,77 c*	7016,03 bc	4136,04 d*	4062,47 e*	T3	782,04 b*	269,34 de	266,45 c*	144,69 cd*
T4	9204,84 ab*	7672,56 abc	7150,03 abc	6138,27 c*	T4	669,19 c*	493,10 b*	365,96 b*	108,19 e*
T5	9181,46 ab*	8074,13 ab	7067,67 abc	7045,56 a	T5	635,94 c*	504,06 b*	372,18 b*	153,69 c
T6	6954,81 c*	6855,22 c	6754,25 bc	6064,99 c*	T6	773,11 b*	319,82 d*	218,48 d	117,14 de*
T7	9323,78 a	7453,67 abc	6139,41 c*	4645,77 d*	T7	870,78 a*	424,28 c*	356,45 b*	236,04 b*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas de asterisco na coluna, diferenciam-se do controle, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Ozônio/20 min; T3-Ozônio/40 min; T4-Ozônio/60 min; T5-Oxigênio em água/20 min; T6-Oxigênio em água/40 min; T7-Oxigênio em água/60 min.

A Tabela 5 descreve as equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2/r^2) das variáveis de cor (Diferença de cor/Dif*, tonalidade/h* e saturação/C*), compostos fenólicos totais (ácido gálico) e atividade antioxidante total (ABTS e DPPH) em polpa de acerola, obtidos para o controle (T1) e também para o ozônio (T2, T3 e T4) e oxigênio (T5, T6 e T7) em função do tempo de armazenamento e tempos de exposição. Os tratamentos cujo as variáveis não apresentaram efeitos significativos para os fatores tempo de armazenamento e tempos de exposição, foram descritos pela média geral.

Os efeitos significativos encontrados para o ozônio (T2, T3 e T4) nas três variáveis de cor e para os compostos fenólicos totais, foram decorrentes apenas do tempo de armazenamento ($P<0,01$). Os tempos de exposição ao oxigênio (T5, T6 e T7), influenciaram significativamente, apenas a diferença de cor e não afetaram significativamente as demais variáveis. Foi observado efeito quadrático para o tempo de armazenamento ($P<0,01$) e efeito linear para tempos de exposição ($P<0,05$). A atividade antioxidante total pelos dois métodos analisados, foi influenciada significativamente pelos tempos de exposição ao ozônio (T2, T3 e T4). Para o método ABTS, foi observado efeito linear para tempo de armazenamento ($P<0,01$) e efeito quadrático para tempos de exposição ($P<0,05$). Quanto ao método DPPH, observou-se efeito linear tanto para o tempo de armazenamento ($P<0,01$), como para os tempos de exposição ($P<0,05$).

A cada dia avaliativo, as reduções médias no teor de compostos fenólicos totais foram de 331,36 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido gálico para os tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4) e de 106,28 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido gálico no controle (T1). Para a atividade antioxidante utilizando-se o método ABTS, as reduções médias foram de 314,96 µM 100 g⁻¹ de polpa de Trolox nos tratamentos de ozônio (T2, T3 e T4), a cada dia avaliativo e de 283,69 e 296,66 µM 100 g⁻¹ de polpa de Trolox, nos tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7) e no controle (T1), respectivamente. Pelo método DPPH, as reduções médias foram de 59,71 µM 100 g⁻¹ de polpa de Trolox a cada dia avaliativo, para o ozônio (T2, T3 e T4) e de 62,44 e 26,81 µM 100 g⁻¹ de polpa de Trolox, para o oxigênio (T5, T6 e T7) e o controle (T1), respectivamente.

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2/r^2) para as variáveis de cor, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total (ABTS e DPPH) em função do tempo de armazenamento (TE) e tempos de exposição (TEMP).

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Diferença de cor da polpa (Dif*)	Controle	$\hat{y}_i = -0,05879 + 1,01923*TE$	0,9223
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 4,2844 - 1,9016**TE + 0,320179**TE^2$	0,9283
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 0,4418 - 0,38436^{ns}TE + 0,16498**TE^2 + 0,0006872*TEMP$	0,9096
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Tonalidade da polpa (h*)	Controle	$\hat{y}_i = 22,2174 + 1,09059*TE$	0,9203
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 26,107 - 0,2245^{ns}TE + 0,20199**TE^2$	0,9068
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 25,094 + 0,8848**TE$	0,8644
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Saturação da polpa (C*)	Controle	$\hat{y}_i = 11,7931 + 0,63554**TE$	0,9979
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 15,2178 - 0,8811^{ns}TE + 0,184778**TE^2$	0,7702
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 12,5312 - 0,0866^{ns}TE + 0,08958*TE^2$	0,8201
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Compostos fenólicos totais (ácido gálico)	Controle	$\hat{y}_i = 2231,87 - 106,281*TE$	0,8470
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 2419,15 - 331,364**TE + 23,83**TE^2$	0,8752
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 1458,89$	-
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Atividade antioxidante total (ABTS)	Controle	$\hat{y}_i = 9312,63 - 296,66*TE$	0,8239
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 16186,6 - 314,961**TE - 446,367**TEMP + 5,43172**TEMP^2$	0,8937
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 8406,7 - 283,699**TE$	0,5853
Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R^2/r^2
Atividade antioxidante total (DPPH)	Controle	$\hat{y}_i = 386,493 - 26,8124*TE$	0,8369
	O ₃ 5,60 mg L ⁻¹ (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 881,22 - 59,7168**TE + 4,0851*TEMP$	0,8108
	Oxigênio (T1, T2 e T3)	$\hat{y}_i = 696,164 - 62,4442*TE$	0,8292

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. °Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t de Student. Tratamentos: T1-Controle; T2-Ozônio/20 min; T3-Ozônio/40 min; T4-Ozônio/60 min; T5-Oxigênio em água/20 min; T6-Oxigênio em água/40 min; T7-Oxigênio em água/60 min.

3.2.3 Aparência externa das acerolas ao longo do armazenamento

Acerolas submetidas ao tratamento com imersão em água ozonizada em todos os períodos de exposição (20, 40 e 60 min/T2, T3 e T4), apresentaram alterações na parte externa, especialmente no tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 60 min (T4) (Figura 2). À medida que se aumentou o tempo de exposição ao ozônio, maiores foram os danos na casca. Nos três tratamentos de oxigênio (20, 40 e 60 min/T5, T6 e T7) e nas amostras controle (T1) esses danos não ocorreram. Contudo, a sanitização de acerolas com água ozonizada (T2, T3 e T4) foi mais eficiente para descontaminação microbiana e preservação de características físico-químicas, em comparação com os tratamentos de oxigênio (T5, T6 e T7) e o controle (T1).

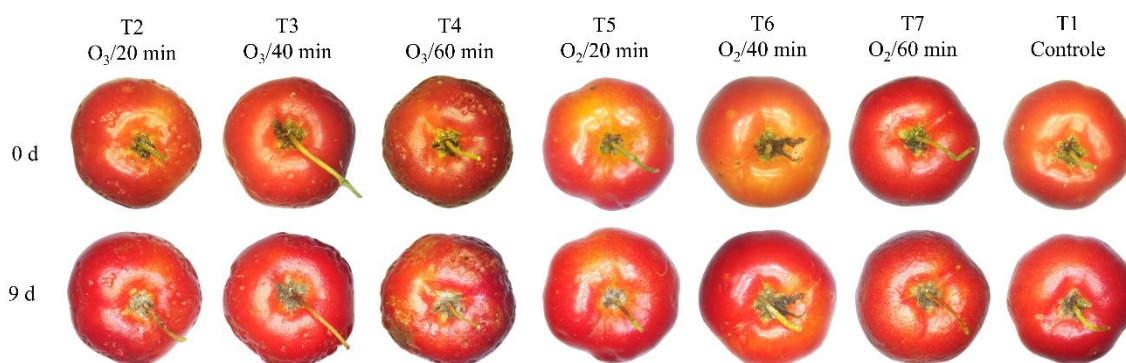


Figura 2. Aparência externa das acerolas com 0 e 9 dias de armazenamento. Escala: Aproximação de 0.63 em microscópio modelo Leica S6D (Leica Microsystems Aotec, São Paulo capital, São Paulo, Brasil).

4. DISCUSSÃO

A atuação do ozônio no controle de fungos e bactérias está relacionada a oxidação progressiva de fosfolipídios e proteínas da membrana celular (JI et al., 2012). Quando aplicado por meio aquoso, os microrganismos são inativados através dos radicais livres de hidroxila (OH^-), hidroperoxila (HO_2) e superóxido (O_2^-) (MANOUSARIDIS et al., 2005). Os radicais livres reagem primeiramente com a ligação dupla dos lipídios na parede celular e após adentrá-la, reagem com o lipopolissacarídeo externo e a lipoproteína interna, aumentando a permeabilidade das membranas (JI et al., 2012). Com o aumento da permeabilidade, o envoltório celular se rompe, dispersando os constituintes do citoplasma e o material genético do DNA e RNA, ocasionando a morte do patógeno (ZHANG et al., 2020).

Até o momento, ainda não existem estudos sobre a utilização de ozônio na sanitização de acerolas *in natura*, mas resultados satisfatórios foram encontrados para outras frutas, buscando-se a redução da contaminação bacteriana e fúngica com o uso desse sanitizante na forma gasosa ou dissolvido em água. No controle de bactérias do grupo *Escherichia coli* e *Salmonella*, o ozônio reduziu de forma considerável estes microrganismos na superfície de frutas vermelhas tratadas por períodos de exposição de 2 a 64 min/1,7; 8,9 e 21 mg L^{-1} de O_3 (morango e framboesa) (BIALKA et al., 2008) e 5 min/14 mg L^{-1} de O_3 (morango) (ZHOU et al., 2018).

A inibição de podridões bacterianas também foi alcançada com aplicação contínua de ozônio gasoso (0,00214 mg L^{-1}) ao longo de 10 dias, na assepsia de uvas para controle de *Candida zeylanoides* e *Acetobacter syzygii* (PINTO et al., 2017) e na eliminação de *Pseudomonas* em kiwi, pelos tempos de 10 a 60 min (LONE et al., 2019). A exposição de maçãs ao gás ozônio (0,05 a 0,087 mg L^{-1}) durante 30 semanas, reduziu a presença da bactéria *Listeria innocua* ao longo do armazenamento (SHENG et al., 2018). Este mesmo efeito ocorreu durante o armazenamento de amora, submetida as concentrações de 0,00064 e 0,00514 mg L^{-1} de O_3 , no controle de Enterobacteriaceae (TABAKOGLU; KARACA, 2018). O tratamento de morango com água ozonizada por 3 min (ALEXANDRE et al., 2011; MARYAM et al., 2020) e ozônio gasoso por 30 min (14 e 18 mg L^{-1} de O_3) (ALVES et al., 2019), também foi eficiente para descontaminação, reduzindo a contagem de mesófilos aeróbios e fungos filamentosos e leveduras.

Na eliminação do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* causador da antracnose, o ozônio gasoso (0,04; 1,6 e 4 ppm de O_3 por 48, 96 e 144 h) (ONG et al., 2013) e a água ozonizada (0,8 mg L^{-1} de O_3 por 40, 80, 120 e 160 min) (COSTA et al., 2020) atrasou e

reduziu a incidência da doença em mamão. Para o controle de mofo verde e bolor azul em tangerinas e laranjas, ocasionados pelos fungos *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum*, a aplicação contínua e intermitente de gás ozônio retardou a presença desses microrganismos na superfície das frutas (GARCÍA-MARTIN et al., 2018). Sua eficiência fúngica também foi constatada na inativação de *Botrytis cinerea*, causador do mofo cinzento, após o uso de água ozonizada no tratamento de mirtilo (10 e 18 mg L⁻¹ de O₃ por 10 a 30 min) (JARAMILLO-SÁNCHEZ et al., 2019) e morango (3,5 mg L⁻¹ de O₃ por 5 a 15 min) (CONTIGIANI et al., 2018; CONTIGIANI et al., 2020) e de ozônio gasoso em uva (0,3 ppm de O₃ ao longo de 40 dias) (VLASSI et al., 2018) e maçã (0,0214, 0,0428 e 0,0642 mg L⁻¹ de O₃ ao longo de 14 dias) (SADEGHI et al., 2021).

A exposição de melão ao ozônio gasoso (1,10 e 2,20 mg L⁻¹ de O₃ por 30, 60 e 120 min) reduziu a presença de podridões fúngicas ocasionadas por *Fusarium sulphureum*, suprimindo a presença desse patógeno (HUA-LI et al., 2018). Em bananas tratadas com gás ozônio (30 min) e água ozonizada (10 min) na concentração de 0,36 mg L⁻¹ de O₃, a água ozonizada foi mais eficiente do que o ozônio gasoso para reduzir a contagem de bolores e leveduras totais, além de preservar por mais tempo a qualidade visual das frutas (ALENCAR et al., 2013).

A tendência observada ao longo do armazenamento para fungos filamentosos e leveduras, pode estar relacionada ao processo de manutenção da quiescência fúngica. Alguns fungos podem permanecer patologicamente quiescentes dependendo da fase de maturação da fruta, ou à medida que se intensifica a respiração climatérica, manifestando-se somente depois de alguns dias (CORDEIRO et al., 2004). O comportamento também pode ter relação com a oxidação da epiderme pelo longo tempo de contato com a água ozonizada. Altas concentrações e tempos de exposição muito longos podem ocasionar a oxidação e descoloração da superfície, favorecendo a presença de danos externos e como consequência, o desenvolvimento de microrganismos, modificando a composição da fruta e acelerando a senescência (ALENCAR et al., 2013; RODRIGUES et al., 2021).

Tendo em vista as excelentes condições de temperatura e umidade relativa, adotadas neste estudo para o armazenamento da acerola e que provavelmente reduziram a respiração e perda de umidade, a quiescência fúngica pode ter se prolongado em alguns tratamentos. O que poderia explicar o comportamento observado. Neste caso, pode-se inferir que o tempo de 60 min de exposição ao oxigênio, ou os tempos mais longos de exposição ao ozônio (40 e 60 min) aplicados em meio aquoso, possivelmente diminuem a quiescência fúngica, antecipando sua incidência em acerolas *in natura*.

Na comercialização de frutas *in natura*, a preservação da massa fresca é um fator essencial. Neste trabalho, o percentual da perda de massa das acerolas não foi afetado pelos tratamentos analisados. A ausência de efeitos sobre essa característica pode estar relacionada as condições de temperatura e umidade relativa do ambiente de armazenamento. Temperaturas e umidades relativas adequadas, reduzem a transpiração e conseqüentemente, as perdas de água e perdas das reservas de carbono, que são ainda mais acentuadas em frutas climatéricas, em função do amadurecimento (SHIN et al., 2008; ALENCAR et al., 2013; ONOPIUK et al., 2017a).

Ao se desvincularem da planta mãe, a respiração torna-se o principal processo fisiológico da fruta e por isso, o controle respiratório é uma condição fundamental para manter a qualidade e prolongar a vida útil de vegetais com alta perecibilidade (CHITARRA; CHITARRA, 2005; CARBONI; MENCARELLI, 2015). A velocidade da perda de água pela fruta está relacionada ao gradiente de pressão entre os tecidos vegetais e a atmosfera no qual o produto se encontra (DUARTE-MOLINA et al., 2016). Essa espécie reage bem a temperaturas próximas de 5°C e umidades relativas acima de 85%, que neste caso podem ter contribuído para preservar essa característica ao longo do tempo.

Estudos demonstram que o ozônio pode apresentar comportamentos distintos quanto a perda de massa fresca. Em mamão (ALI et al., 2014), morango (NAYAK et al., 2019) e pitaya (LI et al., 2023), o ozônio reduziu a perda de massa fresca durante o armazenamento, em comparação com o controle e em uva (VLASSI et al., 2018) e mirtilo (JARAMILLO-SÁNCHEZ et al., 2019), a perda de massa fresca aumentou. Em lichias imersas em água ozonizada (0,08 mg L⁻¹ de O₃) por 12 min (PANDIT; SHUKLA, 2018), essa variável não foi influenciada pelo uso de ozônio, semelhantemente ao observado neste trabalho.

A firmeza é um importante indicador de qualidade na comercialização de frutas. Alterações nessa variável normalmente são associadas ao amadurecimento, ou presença de contaminações e senescência (CHITARRA; CHITARRA, 2005; ALZAMORA et al., 2008). A preservação dessa característica confere resistência durante o transporte e armazenamento, além de ser um aspecto importante no desenvolvimento de embalagens com design adequado, que reforçam a proteção contra fatores ambientais (temperatura e umidade) e danos mecânicos relacionados a compressão, impacto, vibração e abrasão (CHITARRA; CHITARRA, 2005; LUENGO et al., 2003; BECKER et al., 2015).

A perda de turgor celular e conseqüentemente da firmeza é um processo inevitável durante o amadurecimento e senescência, caracterizado pela decomposição e despolimerização de pectina, hemicelulose e celulose, que conferem rigidez as células

vegetais (YANG et al., 2018; PIECHOWIAK et al., 2022). A manutenção eficiente da firmeza na presença de ozônio, normalmente está associada a diminuição de polissacarídeos provenientes do processo de solubilização na parede celular, que é um resultado da inibição do etileno e das enzimas α -arabinopiranosidase e β -galactopiranosidase (TOTI et al., 2018).

A eficiência do ozônio na preservação da firmeza também foi verificada em outras frutas climatéricas. Como por exemplo, em amora tratada com ozônio gasoso (0,00428 mg L⁻¹ de O₃) (HAN et al., 2017), kiwi exposto ao ozônio gasoso por 42 dias (0,15 mg L⁻¹ de O₃ durante o dia e 0,18 mg L⁻¹ de O₃ durante a noite) (GOFFI et al., 2018) e mamão imerso em água ozonizada pelos períodos de 40 a 160 min (0,8 mg L⁻¹ de O₃) (COSTA et al., 2020).

Os resultados encontrados neste trabalho ao longo do armazenamento, para sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável, estão em conformidade com a Instrução Normativa número 37, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, que estabelece os padrões de identidade e qualidade para polpa de acerola madura, que deve ser de no mínimo 5,5 para o °Brix, 2,8 para o pH e 0,8% para a acidez total titulável expressa em ácido cítrico (BRASIL, 2018).

Frutas climatéricas como a acerola, apresentam durante a maturação um maior acúmulo de amido que é posteriormente convertido para açúcares (glicose, sacarose e frutose), resultando em aumentos nos valores de °Brix (LUCENA et al., 2004). Esse processo é influenciado pelo aumento da taxa respiratória e da produção de etileno, hormônio responsável por ativar as enzimas clorofilases e oxidases que quebram as moléculas de clorofila e estimulam a carotenogênese, conferindo novas cores a epiderme das frutas (TAIZ; ZEIGER, 2004; CHITARRA; CHITARRA, 2005). Na fase de senescência, os açúcares são degradados para produção de energia no processo de respiração, diminuindo consideravelmente o teor de sólidos solúveis (LUCENA et al., 2004; ALMENAR et al., 2005).

Neste estudo, não foram observados aumentos e nem decréscimos consideráveis no teor de sólidos solúveis totais ao longo do armazenamento e todos os tratamentos analisados apresentaram tendência e faixa de variação semelhante para os valores de °Brix. Dessa forma, apesar de serem constatadas diferenças significativas e oscilações entre os tratamentos para o teor de sólidos solúveis totais, as acerolas não tiveram o seu padrão de qualidade influenciado pela presença de ozônio ou oxigênio.

Comportamentos distintos foram encontrados em outros trabalhos para o °Brix, em frutas climatéricas ozonizadas. Ao longo do armazenamento de banana (ALENCAR et al., 2013) e mamão (ALI et al., 2014), foram presenciados aumentos no teor de sólidos solúveis

totais até o sexto e oitavo dia, respectivamente e posteriormente decréscimos, relacionados ao sobremadurecimento ou senescência das frutas. Entretanto, os tratamentos de ozônio foram eficientes para preservar essa característica.

O comportamento observado para o pH e acidez total titulável é um padrão recorrente de muitas frutas climatéricas. Após a colheita, os valores de pH tendem a diminuir e posteriormente aumentar com o amadurecimento ou senescência da fruta. Valores mais altos de pH e mais baixos de ácido cítrico após a maturação, indicam maiores graus de senescência e insalubridade. Os ácidos orgânicos (ácido cítrico, málico e tartárico) atuam como agentes de conservação, reduzindo o pH. Esses ácidos são acumulados durante o crescimento da fruta e depois utilizados como substratos respiratórios, aumentando os valores de pH no processo de maturação (MOING et al., 2001). A elevação do pH (ácido para básico) e diminuição da acidez total titulável, está relacionada a oxidação do ácido pirúvico proveniente da hidrólise de amido em açúcares redutores, ocorridos no ciclo de Krebs durante a respiração (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Tendência semelhante foi observada para o pH e acidez total titulável de kiwi exposto ao ozônio gasoso (BARBONI et al., 2010). Foram registrados aumentos nos valores de pH e decréscimos na acidez total titulável à medida que a fruta amadurecia e essas variáveis não foram afetadas negativamente pelo ozônio. Esse mesmo efeito ocorreu em amora analisando-se a acidez total titulável, que apresentou decréscimos naturais durante o amadurecimento, mas em frutas ozonizadas obteve-se os maiores níveis de ácido cítrico e a menor taxa de decomposição, comparativamente as amostras controle (HAN et al., 2017).

As reduções presenciadas ao longo do armazenamento para a vitamina C, são um processo natural durante o amadurecimento de acerolas e quanto mais avançado for o estágio de maturação, mais baixos serão esses valores. Os decréscimos de ácido ascórbico ocorrem como resultado da oxidação de ácido ascórbico em desidroascórbico, catalisada pela enzima ascorbato oxidase do apoplasto celular (ONOPIUK et al., 2017b; CHATZOPOULOU et al., 2020). O teor de ácido ascórbico em acerolas é um dos indicadores nutricionais mais importantes para essa fruta, por ser o elemento encontrado em maior proporção. Os valores ideais se encontram em faixas ótimas de 1000 a 2000 mg 100 g⁻¹ de polpa para acerolas maduras, podendo atingir valores acima de 3000 mg 100 g⁻¹ de polpa em acerolas verdes, ou parcialmente maduras (MOHAMMED, 2011; CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002). O tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min foi o único capaz de manter a vitamina C dentro da faixa ideal até o nono dia do armazenamento, apresentando neste dia, o teor de 1121,30 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido ascórbico.

No Brasil, o limite mínimo de ácido ascórbico em acerolas maduras é de 800 mg 100 g⁻¹ de polpa (BRASIL, 2018) e para exportação, os teores devem ser de no mínimo 1200 mg 100 g⁻¹ de polpa (Instituto Brasileiro de Frutas-IBRAF, 1995; BARBOZA et al., 1996). Neste caso, o tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min também se mostrou mais eficiente para o atendimento de padrões internacionais. Até o sexto dia do armazenamento, o teor de ácido ascórbico deste tratamento se encontrava dentro dos limites internacionais aceitáveis, retornando o valor de 1241,65 mg 100 g⁻¹ de polpa de ácido ascórbico. Este trabalho demonstrou que tempos de exposição muito longos ao ozônio, tendem a reduzir de forma acentuada os valores de vitamina C ao longo do armazenamento comparativamente ao controle, além de ocasionarem os maiores danos externos na casca.

Efeitos positivos do ozônio sobre a vitamina C também foram relatados em outros estudos. O uso de ozônio gasoso em amora (TABAKOGLU; KARACA, 2018) e framboesas (ONOPIUK et al., 2017b) e de água ozonizada em morango (ONOPIUK et al., 2017a; Maryam et al., 2020, NAYAK et al., 2020), resultou em altos níveis de vitamina C ao longo do armazenamento. Nesses trabalhos também foram presenciados decréscimos de vitamina C ao longo do tempo, mas nos tratamentos com ozônio os valores foram consideravelmente superiores em comparação a frutas não tratadas. Comportamentos distintos foram verificados em laranjas e tangerinas, cujo a vitamina C permaneceu praticamente inalterada ao longo do armazenamento, em exposição contínua ao ozônio gasoso (GARCÍA-MARTIN et al., 2018).

As alterações de cor são inicialmente o resultado de um maior distanciamento da coloração inicial ao longo do armazenamento, provenientes do processo natural de amadurecimento. Essas alterações podem ser intensificadas pela degradação das antocianinas. Na polpa de acerola, a coloração alaranjada ou amarela conferida pelos carotenoides é disfarçada pela presença das antocianinas vermelhas presentes na casca. A antocianina malvidina-3,5-diglucosídeo é a mais abundante na casca da acerola e quanto mais vermelha for a superfície da fruta, maior é concentração desse pigmento (VENDRAMINI; TRUGO, 2004).

Em frutas de acerola, a redução da tonalidade ou ângulo Hue durante a maturação, indica a mudança de cor do verde/amarelo para o vermelho, influenciada pela produção das antocianinas (ARAÚJO et al., 2009). Por outro lado, o aumento da tonalidade demonstra um maior amarelecimento. Quanto mais próximo de laranja ou amarelo for a cor da polpa processada, menos opaca será a coloração e maiores serão os valores de tonalidade (LIMA et al., 2012).

A degradação das antocianinas ocorre por oxidação direta com o ozônio, através dos radicais de hidroxila (OH⁻). Os radicais atuam como doadores de elétrons, gerando reações eletrofílicas ou nucleofílicas, quebrando ligações antigas e formando novas ligações (TIWARI et al., 2009). O ozonídeo que é um subproduto dessas reações, ocasiona a abertura e quebra dos anéis aromáticos, acelerando a degradação das antocianinas (XUE et al., 2008). A degradação desses pigmentos na casca possivelmente ocasionaram maiores diferenças de cor, tonalidade e saturação na polpa da acerola processada, que neste caso, foram mais pronunciadas na presença de ozônio, especialmente no tempo de 60 min.

Alterações de cor também foram percebidas em frutas com predominância de antocianinas na casca ou polpa, como em lichias tratadas com ozônio gasoso (80 a 240 mg L⁻¹ de O₃) e água ozonizada (2,2 a 3,2 mg L⁻¹ de O₃) por tempos de 10 a 60 min (WHANGCHAI et al., 2011) e morangos também submetidos ao ozônio gasoso (0,3; 0,6 e 0,8 mg L⁻¹ por 60 min) (HELENO et al., 2014) e água ozonizada (0,04; 0,08 e 0,11 mg L⁻¹ de O₃ por 5 min) (FERREIRA et al., 2017). Alguns trabalhos também relatam o escurecimento, ou descoloração da casca ou da polpa de frutas ricas em carotenoides, influenciado pela ozonização. Isso foi verificado na superfície de mamão (ONG et al., 2014) e polpa de pêssego processada (JARAMILLO-SÁNCHEZ et al., 2017) após o tratamento com ozônio gasoso. Em pitayas vermelhas, o ozônio gasoso (10 mg L⁻¹) aplicado por tempos de 30 e 60 min, teve um efeito protetor sobre a coloração das frutas ao longo do armazenamento (LI et al., 2023).

O acúmulo ou redução dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante ao longo do armazenamento, está relacionada a capacidade de defesa contra espécies reativas de oxigênio produzidas após o tratamento das frutas. A defesa antioxidante manifestada por reações enzimáticas promove o aumento das atividades de enzimas antioxidantes, como superoxidase, catalase e ascorbato peroxidase (ONG et al., 2014; GOFFI et al., 2020). A presença das espécies reativas de oxigênio, também induzem a atividade da fenilalanina amônia-liase, principal enzima envolvida na biossíntese fenólica (ALI et al., 2014). A maior atividade dessa enzima refletirá no acúmulo de compostos fenólicos e aumento da capacidade antioxidante, após a reação de desaminação do aminoácido L-fenilalanina em ácido trans-cinâmico (PIECHOWIAK et al., 2020a). Os compostos pertencentes ao grupo dos antioxidantes como os ácidos fenólicos, flavonoides e taninos, mantêm a homeostase redox celular reagindo com as espécies reativas de oxigênio e com os produtos de oxidação (PIECHOWIAK et al., 2020a).

A resposta metabólica das frutas ao estresse oxidativo ocasionado pelo ozônio, ocorre em função da concentração, tempo de exposição, método de aplicação, natureza do produto,

tipo de composto fenólico e sua biodisponibilidade (LI et al., 2019; KAUR et al., 2022). A depender dessas condições, os compostos fenólicos podem aumentar, como resposta ao estresse oxidativo, ou diminuir para se evitar danos a outros compostos, como DNA, lipídios e proteínas (LV et al., 2019). Neste estudo, verificou-se que o menor tempo de exposição a água ozonizada (20 min) tende a ativar os mecanismos de defesa da acerola contra o estresse oxidativo e os longos períodos de exposição (40 e 60 min), podem reduzir a capacidade de defesa e os antioxidantes.

A defesa antioxidante da fruta na presença de ozônio também pode se manifestar por reações não enzimáticas, aumentando substâncias antioxidantes como o ácido ascórbico e a glutathione peroxidase (ZHAO et al., 2013; WU et al., 2019). Na acerola, a vitamina C (ácido ascórbico) é o antioxidante mais abundante. Esse antioxidante atua eliminando, retardando ou inibindo as espécies reativas de oxigênio (GULCIN, 2020). Em situações de estresse oxidativo pelo ozônio, especialmente em altas concentrações ou tempos de exposição, a enzima ascorbato oxidase intensifica a oxidação do ácido ascórbico em ácido desidroascórbico, que pode ser oxidado de forma irreversível a ácido dicetogulônico, perdendo sua atividade vitamínica e reduzindo a vitamina C das frutas (BELTRÁN et al., 2005; SWAMI et al., 2016).

Essa reação possivelmente ilustra os decréscimos mais acentuados ao longo do armazenamento, para o teor de ácido ascórbico, em contraste com as reduções dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante, nos períodos mais longos de exposição a água ozonizada (5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 40 e 60 min). O comportamento também pode estar associado a perda da atividade antioxidante dos carotenoides, dentre eles a luteína, violaxantina, α -caroteno, β -caroteno e β -criptoxantina, carotenoides maiores presentes na polpa da acerola, destacando-se o β -caroteno, que corresponde a mais de 90% do teor de carotenoides totais presentes na polpa (AGOSTINI-COSTA et al., 2003; MEZADRI et al., 2004). Os carotenoides fornecem proteção contra o estresse oxidativo ocasionado pelas espécies reativas de oxigênio, nitrogênio e peróxidos lipídicos, suprimindo o oxigênio singlete e os radicais livres provenientes do processo de ozonização (MÜLLER et al., 2016). Altas concentrações ou longos tempos de exposição ao ozônio podem reduzir estes pigmentos por clivagem oxidativa, aumentando a atividade da enzima 9-cis-epoxicarotenóide-dioxigenase e a produção de ácido abscísico, acelerando a senescência (ALI et al., 2014).

Em concentrações e tempos de exposição adequados, o ozônio pode melhorar a capacidade do mecanismo de defesa antioxidante, refletindo em maior controle de podridões (ONG et al., 2014). Isto porque, o acúmulo de compostos fenólicos totais, desencadeia o

aumento de fitoalexinas, compostos antimicrobianos e de natureza fenólica, que se acumulam localmente em resposta a estresses abióticos (ALI et al., 2014). Isto pode explicar a melhor eficiência do tratamento de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min na descontaminação microbiana, associada a uma maior preservação de vitamina C, pH, ácido cítrico, acúmulo de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total.

A influência do tempo de exposição ao ozônio sobre os compostos fenólicos totais e atividade antioxidante, também foi estudada em melões processados, utilizando-se os tempos de 30 e 60 min para o tratamento (FUNDO et al., 2018). Foi demonstrado que ambos os tempos de exposição ao gás ozônio, ocasionaram maior acúmulo de compostos fenólicos comparativamente ao controle e que o aumento do tempo de tratamento de 30 para 60 min, refletiu em perda da atividade antioxidante total, influenciada pela degradação dos pigmentos de cor e da vitamina C. Tendência semelhante também foi observada em framboesas expostas ao gás ozônio por 60 e 120 min, com maior eficiência para descontaminação microbiológica no menor tempo de exposição (ONOPIUK et al., 2017b). Em amoras, comprovou-se que a presença de ozônio gasoso (0,00428 mg L⁻¹ de O₃) estende a vida útil das frutas e preserva os atributos qualitativos, conferindo maior resistência a patógenos por indução das fitoalexinas resveratrol e pterostilbeno (HAN et al., 2017).

Os danos na casca provavelmente estão relacionados em um primeiro momento, a oxidação da cera cuticular. Na acerola, a camada protetora é bem estreita, podendo apresentar de 10 a 30 µg.cm⁻² de cera total na parte externa (SANTOS; EGYDIO, 2010). Estudos anteriores demonstraram a importância da cera cuticular na qualidade pós-colheita de frutas (LARA et al., 2014; MUKHTAR et al., 2014; CHU et al., 2018) e sua influência na conservação, associada ao uso de ozônio (SÁNCHEZ et al., 2022). Contudo, a presença de danos externos, também depende da concentração de ozônio, tempo de exposição adotado, ou espessura da casca.

A presença de microbolhas durante a ozonização, também é um fator que pode ter contribuído para o surgimento de danificações na casca, considerando sua capacidade de intensificar o potencial oxidativo do ozônio (MILLER et al., 2013). Esses efeitos aumentam em baixas temperaturas, que ajudam a prolongar o tempo de meia vida do ozônio (ASLAM et al., 2020; MILLER et al., 2013). Neste estudo, foi adotado a temperatura de 7 ± 1 °C durante a imersão das frutas em água ozonizada. Neste caso, o uso das microbolhas associado a temperatura da água de tratamento, possivelmente elevaram a capacidade de oxidação do ozônio. Comportamento distinto foi verificado em frutas imersas em água ozonizada em sistema de microbolhas, como maçã (LI et al., 2021), morango, cereja e damasco (LI et al.,

2024). Nesses estudos, não foram observadas alterações na epiderme das frutas após a ozonização.

O tratamento de goiabas com gás ozônio nas concentrações de 0; 0,065; 0,095; 0,185; 0,275; 0,370 e 0,460 mg L⁻¹ por 60 min, resultou em manchas verdes e vermelhas no epicarpo das frutas, em concentrações superiores a 0,185 mg L⁻¹ (SIMÕES et al., 2020). Em mamões submetidos ao gás ozônio nas concentrações de 0; 0,00321; 0,00535; 0,00749 e 0,0107 mg L⁻¹ por 96 h, os tratamentos de 0,00749 e 0,0107 mg L⁻¹ apresentaram efeitos negativos sobre as características visuais da fruta (ALI et al., 2014). A exposição de bananas ao gás ozônio (0,36 mg L⁻¹ de O₃) durante 30 min, também ocasionou hematomas na casca (ALENCAR et al., 2013).

A remoção da camada protetora, pode ter favorecido a degradação das antocianinas, pigmentos pertencentes a classe dos flavonoides, responsáveis pela cor vermelha e predominantes na casca da acerola. Esses pigmentos são muito instáveis e susceptíveis a oxidação, o que pode estar relacionado ao comportamento observado nos tratamentos de ozônio, principalmente no tempo de 60 min. No entanto, por serem pigmentos de natureza antioxidante, em alguns casos a presença de ozônio pode intensificar o acúmulo das antocianinas, contribuindo com a preservação da qualidade ao longo do armazenamento. Dessa forma, em frutas vermelhas, ou mais abundantes em antocianinas do que a acerola, os resultados podem ser opostos a estes, dependendo da concentração ou tempo de exposição adotado. Isso foi verificado por exemplo, em framboesas submetidas ao gás ozônio (8 a 10 mg L⁻¹ de O₃) durante 30 min, com intervalos de 12 h (PIECHOWIAK et al., 2021a) e em mirtilos tratados com ozônio gasoso (5 mg L⁻¹ de O₃) por 30 min, a cada 12 h de armazenamento (PIECHOWIAK et al., 2021b).

Este estudo demonstrou que a água ozonizada em sistema de microbolhas pode ser uma alternativa promissora no tratamento de acerolas destinadas ao processamento, mas para o consumo *in natura*, maiores ajustes seriam necessários antes de sua adoção como técnica de preservação. Tendo em vista que, para a comercialização de frutas frescas, a qualidade visual é um atributo importante e essa característica foi afetada em função dos tempos de ozonização.

5. CONCLUSÕES

O tratamento das acerolas com água ozonizada em sistema de microbolhas na concentração de 5,60 mg L⁻¹ de O₃ por 20 min, foi a melhor condição para descontaminação bacteriana e fúngica e para preservação da vitamina C, pH, acidez total titulável, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total ao longo do armazenamento. A água ozonizada em sistema de microbolhas foi eficiente para manutenção da firmeza em acerolas, independente do tempo de exposição adotado. Quanto maior o período de imersão na água ozonizada, maiores foram os danos observados na casca da acerola.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. A. C.; LEVIT, R.; BERES, C.; BEDANI, R.; LEBLANC, A. M, SAAD, S. M. I.; LEBLANC J. G. Tropical fruit by-products water extracts as sources of soluble fibres and phenolic compounds with potential antioxidant, anti-inflammatory, and functional properties. **Journal of Functional Foods**, v. 52, p. 724-733, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.002>
- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; PINTO, M. S.; COSTA, A. R.; SILVA, T. A. Postharvest quality of ozonized “nanicão” cv. Bananas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 107-114, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100014>
- ALEXANDRE, E. M. C.; SANTOS-PEDRO, D. M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 2, p. 277-282, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.032>
- ALI, A.; ONG, M. K.; FORNEY, C. F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry**, v. 142, p. 19-26, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.039>.
- ALMENAR, E.; P. HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. M.; LAGARÓN, R. CATALÁ.; GAVARA, R. “Controlled Atmosphere Storage of Wild Strawberry Fruit (*Fragaria vesca* L.)” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 86-91, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf0517492>
- ALVES, H.; ALENCAR, E. R.; FERREIRA, W. F. S.; SILVA, C. R.; RIBEIRO, J. L. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de morango exposto ao gás ozônio em diferentes concentrações durante o armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p.1-12, e2018002, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.00218>
- ALZAMORA, S. M.; VIOLLAZ, P. E.; MARTÍNEZ, V. Y.; NIETO, A. B.; SALVATORI, D. Part 9. p. 155-181. In: GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; BARBOSA-CANÓVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; PARADA-ARIAS, E (Editors). **Food Engineering Integrated Approaches**. Springer: New York, NY, USA, 2008. 476 p. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75430-7_9
- AGOSTINI-COSTA, T. S.; ABREU, L. N.; ROSSETTI, A. G. Efeito do congelamento e do tempo de estocagem da polpa de acerola sobre o teor de carotenóides. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 56-58, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100017>
- ANTUNES, A. M.; VALMÓRBIDA, J.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Uso de reguladores vegetais na conservação refrigerada de acerolas (*Malpighia glabra* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1241-1245, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600031>
- ARAÚJO, H. G. G. S.; NASCIMENTO, R. S.; SANTOS, B. S.; COSTA, F. S. C.; SOUZA, J. F.; PAGANI, A. A. C.; CARNELOSSI, M. A. G. Desenvolvimento e caracterização físico-química e sensorial de catchup de acerola. **Revista Geintec**, v. 3, n. 2, p. 26-37, 2013. <https://doi.org/10.7198/S2237-0722201300020003>

ARAÚJO, M. N. T.; CASTRO, R. S.; RODRIGUES, A. C.S; RÊGO, J. F.; UCHÔA, V. T. Avaliação do teor de vitamina c em polpas de acerola comercializadas em supermercados de Piriri-PI. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 59-68, 2017. <https://doi.org/10.28998/rca.v15i1.2609>

ARAÚJO, P. G. L.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R. E.; MAIA, G. A.; MOURA, C. F. H.; SOUSA, P. H. M. Qualidade físico-química e química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 4, p. 867-880, 2009. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/631942>> Acesso em: 08/08/2023.

ASAMI, D. K.; HONG, Y-J.; BARRETT, D. M.; MITCHELL, A. E. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 5, p. 1237-1241, 2003. <https://doi.org/10.1021/jf020635c>

ASLAM, R.; ALAM, M. S.; SAEED, P. A. Sanitization potential of ozone and its role in postharvest quality management of fruits and vegetables. **Food Engineering Reviews**, v. 12, p. 48-67, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09204-0>

AZEREDO, H. M. C.; MIRANDA, K. W. E.; RIBEIRO, H. L.; ROSA, M. F.; NASCIMENTO, D. M. Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 4, p. 505-510, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.006>

BARBONI, T.; CANNAC, M.; CHIARAMONTI, N. Effect of cold storage and ozone treatment on physicochemical parameters, soluble sugars and organic acids in *Actinidia deliciosa*. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 946-951, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.024>

BARBOZA, S. B. S. C.; TAVARES, E. D.; MELO, M. B. **Instruções para o cultivo da acerola**. Aracaju: EMBRAPA, CPATC, 1996. 42 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44461/1/CPATC-DOCUMENTOS-6-INSTRUcoes-PARA-O-CULTIVO-DA-ACEROLA-FL-13124.pdf>>. Acesso em: 16/05/2023

BECKER, F. S.; VILAS BOAS, A. C.; SALES, A.; TAVARES, L. S.; SIQUEIRA, H. H.; VILAS BOAS, E. V. B. Characterization of ‘Sabará’ Jabuticabas at diferente maturation stages. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 4, p. 457-462, 2015. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i4.19499>

BELTRÁN, D.; SELMA, M. V.; MARÍN, A.; GIL, M. I. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 14, p. 5654-5663, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf050359c>

BELWAL, T.; DEVKOTA, H. P.; HASSAN, H. A.; AHLUWALIA, S.; RAMADAN, M. F.; MOCAN, A.; ATANASOV, A. G. Phytopharmacology of acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, p. 99-106, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.014>

BIALKA, K. L.; DERMICI, A.; PURI, V. M. Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed UV-light. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 3, p. 444-449, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.007>

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018 que estabelece os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e a listagem das frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade já fixados pelo Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento através da IN MAPA nº 49, de 26 de setembro de 2018. **Normas Brasil**. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-37-2018_368178.html>. Acesso em: 18/01/2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfda/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/obter-credenciamento/documentos-rede-nacional-de-laboratorios-agropecuarios/ModelopPg._susp.deensaiosMrieux_25.04.19.pdf>. Acesso em: 05/05/2023.

CALGARO, M.; BRAGA, M. B. (Ed.). A cultura da acerola. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. (Coleção Plantar, 69). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128278/1/PLANTAR-Acerola-ed03-2012.pdf>. Acesso em: 15/05/2023.

CARBONI, K.; MENCARELLI, F. Influence of short-term postharvest ozone treatments in nitrogen or air atmosphere on the metabolic response of white wine grapes. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 1739-1749, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1515-y>

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; PRETE, C. E. C. GONZALEZ, M. G. N.; POPPER, I. O. Novas cultivares de acerola (*malpighia emarginata* dc): UEL 3-Dominga, UEL 4-Lígia e UEL 5-Natália. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 124-126, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100027>

CAVICHIOLO, J. C.; GARCIA, M. J. M. BRIDA, A. L.; WILCKEN, S. R. S. Reação de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) à *Meloidogyne enterolobii*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 156-160, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-429/13>

CIE (2004). CIE technical report. Colorimetry (3rd ed.). 552. Colorimetry (pp. 24–). ISBN 3901-906-33-9. [https://doi.org/ISBN 3 901 906 33 9](https://doi.org/ISBN%203%20901%20906%2033%209).

CHATZOPOULOU, F.; SANMARTIN, M.; MELLIDOU, I.; PATERAKI, I.; KOUKOUNARAS, A.; TANOU, G.; KALAMAKI, M. S.; VELJOVIĆ-JOVANOVIĆ, S.; ANTIĆ, T. C.; KOSTAS, S.; TSOUVALTZIS, P.; GRUMET, R.; KANELIS, A. K. Silencing of ascorbate oxidase results in reduced growth, altered ascorbic acid levels and ripening pattern in melon fruit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 291-303, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.040>

CHITARRA, M. I. F; CHITARRA, B. F. **Tecnologia e Qualidade Pós-colheita de Frutas e Hortaliças**. Lavras: UFLA, 2005, 783 p.

CHU, W.; GAO, H.; CHEN, H.; FANG, X.; ZHENG, Y. Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit. **Food Chemistry**, v. 239, p. 68-74, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.024>

CONTIGIANI, E. V.; JARAMILLO-SÁNCHEZ, G.; CASTRO, M. A.; GÓMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Postharvest Quality of Strawberry Fruit (*Fragaria x Ananassa Duch cv. Albion*) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1639-1650, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2127-0>

CONTIGIANI, E. V.; KRONBERG, M. F.; SÁNCHEZ, G. J.; GÓMEZ, P. L.; GÁRCIA-LOREDO, A. B.; MUNARRIZ, E.; ALZAMORA, S. M. Ozone washing decreases strawberry susceptibility to *Botrytis cinerea* while maintaining antioxidant, optical and sensory quality. **Heliyon**, v. 6, n. 11, p. 1-9, e05416, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05416>

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; MEISSNER FILHO, P. E. Doenças e métodos de controle, In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **O cultivo da bananeira Cruz das Almas**: Nova Civilização, 2004. p.146-182.

COSTA, A. R.; FARONI, L. R. A.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; ALENCAR, E. R. Use of Ozonized Water to Control Anthracnose in Papaya (*Carica papaya* L.) and its Effect on the Quality of the Fruits. **Ozone: Science & Engineering**, v. 43, n. 4, p. 384-393, 2020. <https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1816450>

DELVA, L.; SCHNEIDER, R. G. Acerola (*Malpighia emarginata* DC): Production, Postharvest Handling, Nutrition, and Biological Activity. **Food Reviews International**, v. 29, n.2, p. 107-126, 2013. <https://doi.org/10.1080/87559129.2012.714433>

DUARTE-MOLINA, F., GÓMEZ, P. L., AGUEDA CASTRO, M.; ALZAMORA, S.M. Storage quality of strawberry fruit treated by pulsed light: Fungal decay, water loss and mechanical properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 267-274, 2016. <https://doi:10.1016/j.ifset.2016.01.019>

DUBEY, P.; SINGH, A.; YOUSUF, O. Ozonation: an evolving disinfectant technology for the food industry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, p. 2102-2113, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02876-3>

FERREIRA, W. F. S.; ALENCAR, E. R.; ALVES, H.; RIBEIRO, J. L.; SILVA, C. R. Influence of pH on the efficacy of ozonated water to control microorganisms and its effect on the quality of stored strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 692-700, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416013317>

FIGUEIREDO NETO, A.; REIS, D. S.; ALVES, E.; GONÇALVES, E.; ANJOS, F. C.; FERREIRA, M. Determinação de vitamina c e avaliação físico-química em três variedades de acerola cultivadas em Petrolina-PE. **Nucleus**, v. 11, p. 83-92, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.987>

FUNDO, J. F.; MILLER, F. A.; TREMARIN, A.; GARCIA, E.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L.M. Quality assessment of *Cantaloupe* melon juice under ozone processing.

Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 47, p. 461-466, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.016>

GARCÍA-MARTÍN, J. F.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of diferente citrus varieties at laboratory and at industrial facility. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 77-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.015>

GOFFI, V.; MODESTI, M.; FORNITI, R.; BOTONDI, R. Quality of green (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* ‘Hayward’) and yellow (*A. chinensis* var. *chinensis* ‘Soreli’) kiwifruit during cold storage at 0°C in normal atmosphere and with gaseous ozone. **Acta Horticulturae**, p. 473-480, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1218.65>

GOFFI, V.; MAGRI, A.; BOTONDI, R.; PETRICCIONE, M. Response of antioxidant system to postharvest ozone treatment in ‘Soreli’ kiwifruit. **Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 3, p. 961-968, 2020. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10055>

GUEDES, T. J. F. L.; RAJAN, M.; BARBOSA, P. F.; SILVA, E. S.; MACHADO, T. O. X.; NARAIN, N. Phytochemical composition and antioxidant potential of different varieties viz. Flor Branca, Costa Rica and Junco of green unripe acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1-9, e46320, 2022. <https://doi.org/10.1590/fst.46320>

GULCIN, I. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives of Toxicology**, v. 94, p. 651-715, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>

GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 453-460, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>

HAN, Q.; GAO, H.; CHEN, H.; FANG, X.; WU, W. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits. **Food Chemistry**, v. 221, n. 1, p. 1947-1953, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.152>

HELENO, F. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A.; FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; OLIVEIRA, A. F. Effects of ozone fumigation treatment on the removal of residual difenoconazole from strawberries and on their quality. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 49, p. 94-101, 2014. <https://doi.org/10.1080/03601234.2014.846736>

HORTA, R. N.; KAHL, V. F. S.; SARMENTO, M. S.; NUNES, M. F. S.; PORTO, C. R. M.; ANDRADE, V. M., FERRAZ, A. B. F.; SILVA, J. Protective effects of acerola juice on genotoxicity induced by iron in vivo. **Genetics and Molecular Biology**, v. 39, n. 1, p. 122-128, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2015-0157>

HUA-LI, X.; YANG, B.; RAZAC, H.; HU-JUN, W.; LU-MEI, P.; MI-NA, N.; XIAO-YAN, C.; YI, W.; YONG-CAI, L. Detection of NEO in muskmelon fruits inoculated with *Fusarium sulphureum* and its control by postharvest ozone treatment. **Food Chemistry**, v. 254, p. 193-200, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.149>

IAL (2008). 1ª Edição Digital. Métodos Físicos-Químicos Para Análise de Alimentos. Disponível em:

<https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>.
Acesso em: 18 de abril de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. **Soluções fruta a fruta: acerola**. São Paulo: IBRAF, 1995. 59 p.

JAESCHKE, D. P.; MARCZAK, L. D. F.; MERCALI, G. D. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating. **Food Chemistry**, v. 199, n. 15, p.128-134, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.117>

JARAMILLO-SÁNCHEZ, G. M.; LOREDO, A. G.; GOMÉZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Ozone processing of peach Juice: Impact on physicochemical parameters, color, and viscosity. **Ozone: Science & Engineering**, v. 40, n. 4, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1417111>

JARAMILLO-SÁNCHEZ, G. M.; CONTIGIANI, E. V.; CASTRO, M. A.; HODARA, K.; ALZAMORA, S. M.; LOREDO, A. G.; NIETO, A. B. Freshness Maintenance of Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) During Postharvest Using Ozone in Aqueous Phase: Microbiological, Structure, and Mechanical issues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 2136-2147, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02358-z>

JI, L.; PANG, J.; LI, S.; XIONG, B.; CAI, L-G. Application of new physical storage technology in fruit and vegetable industry. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 25, p. 6718-6722, 2012. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1878>

JOHN, A.; MAHATO, L. K.; DEVASHISH, K.; NAYAK, S.; JAVED, S. M.; SINHA, H. Comparison of misoprostol in conjunction with oxytocin and oxytocin alone for the prevention of postpartum hemorrhage during active management of the third stage of labor. **National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology**, v. 12, n. 10, p. 1682-1685, 2022. <https://doi.org/10.5455/njppp.2022.12.09429202213092022>

KAUR, K.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; ISHWARYA, S. P.; ZALPOURI, R.; MAHANTI, N. K. Impact of ozone treatment on food polyphenols - A comprehensive review. **Food Control**, v. 142, 109207, p. 1-13, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109207>

LARA, I.; BELGE, B.; GOULAO, L. F. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. **Postharvest Biology Technology**, v. 87, p. 103-112, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.012>

LIMA, R. M. T.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, E. A. T.; RODRIGUES, C. S. Estabilidade química, físico-química e microbiológica de polpas de acerola pasteurizadas e não-pasteurizadas de cultivo orgânico. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 367-373, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000005>

LEFFA, D. D.; SILVA, J.; PETRONILHO, F. C.; BIÉLLA, M. S.; LOPES, A.; BINATTI, A. R.; DAUMANN, F.; SCHUCK, P. F.; ANDRADE, V. M. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.) juice intake protects against oxidative damage in mice fed by cafeteria diet. **Food Research International**, v. 77, n. 3, p. 649-656, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.006>

LI, C.; XIE, Y.; GUO, Y.; CHENG, Y.; YU, P.; QIAN, E.; YAO, W. Effects of ozone-microbubble treatment on the removal of residual pesticides and the adsorption mechanism of pesticides onto the apple matrix. **Food Control**, v. 120, p. 1-5, (107548), 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107548>

LI, C.; WANG, S.; TAO, J.; WANG, J.; WU, Z. Monitoring quality parameters and antioxidant potential of fresh-cut red pitaya fruit treated with gaseous ozone using kinetic models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, p. 4208-4224, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01927-3>

LI, X.; LI, M.; JI, N.; JIN, P.; ZHANG, J.; ZHENG, Y.; ZHANG, X. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit. **LWT-Food Science and Technology**, v. 115, 108447, p. 1-9 (108447), 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108447>

LI, X.; LIU, C.; LIU, F.; ZHANG, X.; CHEN, X.; PENG, Q.; WUB, G.; ZHAOB, Z. Substantial removal of four pesticide residues in three fruits with ozone microbubbles. **Food Chemistry**, v. 441, p. 1-9 (138293), 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138293>

LIU, T.; ZHANG, B.; LI, W.; LI, B.; HAN, Z.; ZHANG, Y.; DING, U.; WANG, S.; MA, J.; ELE, X. The catalytic oxidation process of atrazine by ozone microbubbles: Bubble formation, ozone mass transfer and hydroxyl radical generation. **Chemosphere**, v. 325, p. 1-9 (138361), 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138361>

LONE, S. A.; RAGHUNATHAN, S.; DAVOODBASHA, M.; SRINIVASAN, H.; LEE, S. An investigation on the sterilization of berry fruit using ozone: An option to preservation and longterm storage. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, p. 1-6 (101212), 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101212>

LUCENA, C. C.; SILVA, A. C.; SILVA, A. C.; FEITOSA, H. O.; ALMEIDA, F. F. D.; CONEGLIAN, R. C.; VASCONCELLOS, M. A. S. Efeito da película de amido na conservação pós-colheita de frutos de banana cv. "Nanicão". **Agronomia**, v. 38, n. 02, p. 34-37, 2004.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P.; PESSOA, J. D. C. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 704-707, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400027>

MACEDO, J. J. N.; SANCHES, A. G.; RABELO, M. C.; LOPES, M. M. A.; FREITAS, V. S.; SILVEIRA, A. G.; MOURA, C. F. H.; SILVA, E. O.; GALLÃO, M. I.; GOMES-FILHO, E.; ALVES-FILHO, E. G.; MIRANDA, M. R. A. Pulsed light influences several metabolic routes, delaying ripening and improving the postharvest quality of acerola. **Scientia Horticulturae**, v. 307, n. 3, 111505, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111505>

MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; SANTOS, E. S.; LIMA, M. S. Effects of biofilm and refrigeration on acerola postharvest conservation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 168-170, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000100044>

MANOUSARIDIS, G.; NERANTZAKI, A.; PALEOLOGOS, E. K.; TSIOTSIAS, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. **Food Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.06.003>

MARYAM, A.; ANWAR, R.; MALIK, A. U.; RAHEEM, M. I. U.; KHAN, A. S.; HASAN, M. U.; HUSSAIN, Z.; SIDDIQUE, Z. Combined aqueous ozone and ultrasound application inhibits microbial spoilage, reduces pesticide residues and maintains storage quality of strawberry fruits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 1437-1451, 2020 <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00735-3>

MAZARO, S. M.; BORSATTI, F. C.; DALACOSTA, N. L.; LEWANDOWSKI, A.; DANNER, M. A.; BUSSO, C.; WAGNER-JUNIOR, A. Qualidade pós-colheita de acerolas tratadas com ácido salicílico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 512-517, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i4a5190>

MERCALI, G. D.; SCHWARTZ, S.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; S. SASTRY, S. Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: Effect of electric field frequency. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 1-7, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.011>

MEZADRI, T.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata* DC.) and derived products. **European Food Research and Technology**, v. 220, p. 63-69, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1042-y>

MILLER, F. A.; SILVA, C. L. M.; BRANDÃO, T. R. S. A Review on Ozone-Based Treatments for Fruit and Vegetables Preservation. **Food Engineering Reviews**, v. 5, p. 77-106, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12393-013-9064-5>

MOHAMMED, M. Part 2. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). p. 27-47. In: YAHIA, E. M. (Editor). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. 2011. 560. p. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.27>

MOING, A.; RENAUD, C.; GAUDILLÈRE, M.; RAYMOND, P.; ROUDEILLAC, P.; DENOYES-ROTHAN, B. Biochemical changes during fruit development of four strawberry cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, p. 394-403, 2001. <https://doi.org/10.21273/JASHS.126.4.394>

MÜLLER, L.; CARIS-VEYRAT, C.; LOWE, G.; BÖHM, V. Lycopene and its antioxidant role in the prevention of cardiovascular diseases - A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 11, p. 1868-1879, 2016. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.801827>

MUKHTAR, A.; DAMEROW, L.; BLANKE, M. Non-invasive assessment of glossiness and polishing of the wax bloom of European plum. **Postharvest Biology Technology**, v. 87, p. 144-151, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.017>

NAYAK, S. L.; SETHI, S.; SHARMA, R. R.; SHARMA, R. M. Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Journal of Food Science Technology**, v. 57, n. 1, p. 319-326, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04063-3>

NOGUEIRA, E. S.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M. Avaliação de biofilme de quitosana na conservação pós-colheita de frutos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência e Tecnologia do Pescado: Uma Análise Pluralista**, v. 2, p. 26-39, 2021. <https://doi.org/10.37885/210504558>

ONG, M.K.; KAZI, F. K.; FORNEY, C. F.; ALI, A. Effect of Gaseous Ozone on Papaya Anthracnose. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p. 2996-3005, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1013-4>

ONG, M. K.; ALI, A.; ALDERSON, P. G.; FORNEY, C. F. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. **Scientia Horticulturae**, v. 179, p. 163-169, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.004>

ONOPIUK, A.; PÓLTORAK, A.; WYRWISZ, J.; MOCZKOWSKA, M.; STELMASIAK, A.; LIPÍŃSKA, A.; SZPICER, A.; ZALEWSKA, M.; ZAREMBA, R.; KUBOŃ, M.; WIERZBICKA, A. Impact of ozonisation on pro-health properties and antioxidant capacity of 'Honeoye' strawberry fruit. **CyTA Journal of Food**, v. 15, n. 1, p. 58-64, 2017a. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1212273>

ONOPIUK, A.; PÓLTORAK, A.; MOCZKOWSKA, M.; SZPICER, A.; WIERZBICKA, A. The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus idaeus* raspberries. **CyTA Journal of Food**, v. 15, n. 4, p. 563-573, 2017b. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1317669>

PASCUAL, A.; LLORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends Food Science & Technology**, v.18, p. S29–S35, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.10.006>

PANDISELVAM, R.; SINGH, A.; AGRIOPOULOU, S.; SACHADYN-KRÓL, M.; ASLAM, R.; LIMA, C. M. G.; KHANASHYAM, A. C.; KOTHAKOTA, A.; ATAKAN, O.; KUMAN, M.; MATHANGHI, S. K.; KHANEGHAH, A. M. A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 127, p. 74-86, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.008>

PANDIT, P. S.; SHUKLA, S. P. Effect of ozonized reverse osmosis plant water washing on microbial load of lychee. **Acta Horticulturae**, v. 1211, p. 23-28, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1211.4>

PIECHOWIAK, T.; MIGUT, D.; JÓZEFCZYK, R.; BALAWEJDER, M. Ozone Treatment Improves the Texture of Strawberry Fruit during Storage. **Antioxidants**, p. 1-14, 2022, 11, 821. <https://doi.org/10.3390/antiox11050821>

PIECHOWIAK, T.; SKÓRA, B.; BALAWEJDER, M. Ozone Treatment Induces Changes in Antioxidative Defense System in Blueberry Fruit During Storage. **Food and Bioprocess Technology**, 13, p. 1240-1245, 2020a. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02450-9>

PIECHOWIAK, T.; GRZELAK-BŁASZCZYK, K.; SÓJKA, M.; BALAWEJDER, B. Changes in phenolic compounds profile and glutathione status in raspberry fruit during

storage in ozone-enriched atmosphere. **Postharvest Biology and Technology**, v. 168, 111277, p. 1-7, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111277>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; BALAJEJDER, M. Effect of ozonation process on the energy metabolism in raspberry fruit during storage at room temperature. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 483-491, 2021a. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02591-5>

PIECHOWIAK, T.; SOWA, P.; TARAPATSKYY, M.; BALAJEJDER, M. The role of mitochondrial energy metabolism in shaping the quality of highbush blueberry fruit during storage in ozone-enriched atmosphere. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 1973-1982, 2021b. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02696-x>

PINTO, L.; CAPUTO, L.; QUINTIERI, L.; CANDIA, S.; BARUZZI, F. Efficacy of gaseous ozone to counteract postharvest table grape sour rot. **Food Microbiology**, v. 66, p. 190-198, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.05.001>

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers. **Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3309-5>

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-29, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>

RIBEIRO, B. S.; FREITAS, S. T. Maturity stage at harvest and storage temperature to maintain postharvest quality of acerola fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 260, 108901, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108901>

RODRIGUES, A. A. Z.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FARONI, L. R. A.; PRATES, L. H. F.; NEVES, A. A.; OLIVEIRA, A. F.; FREITAS, J. F.; HELENO, F. F.; ZAMBOLIM, L. The efficacy of washing strategies in the elimination of fungicide residues and the alterations on the quality of bell peppers. **Food Research International**, v. 147, p. 1-13 (110549), 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110579>

RODRIGUES, E. A.; SILVA, F. L. R.; BARROS, C. C.; ALMEIDA, J. O.; BARROS, N. K. S.; NOBRE, E. M. C. S. Utilização de revestimentos comestíveis de óleo de girassol, pectina natural, gelatina incolor e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de acerola e goiaba. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 27542-27557, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-313>

SADEGHI, R.; AMINIAN, H.; REMIZE, F.; SHEIKH, M.; EBRAHIMI, L. Integrated control of blue and gray molds of apples with antagonistic yeasts combined with carbon dioxide or ozone. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, p. 943-953, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00891-5>

SÁNCHEZ, G. J.; CONTIGIANI, E. V.; ALZAMORA, S. M.; SANTAGAPITA, P. R. Changes on epicuticular waxes and colour induced by ozone in blueberries (*Vaccinium*

corymbosum L. 'O' Neal'). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 108, 104404, p. 1-8, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104404>

SANTOS, D. Y. A. C.; EGYDIO, A. P. M. Total wax and n-alkane profiles from fruit and leaf waxes of *Malpighia glabra* L. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2010. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/42871709>> Acesso em: 27/04/2023.

SANTOS, R. R.; FARONI, L. R. A.; CECON, P. R.; FERREIRA, A. P. S.; PEREIRA, O. L. Ozone as fungicide in rice grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 230-235, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p230-235>

SHENG, L.; HANRAHAN, I.; SUN, X.; TAYLOR, M. H.; MENDOZA, M.; ZHU, M-J. Survival of *Listeria innocua* on Fuji apples under commercial cold storage with or without low dose continuous ozone gaseous. **Food Microbiology**, v. 76, p. 21-28, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.04.006>

SHIN, Y.; RYU, J.; LIU, R. H.; NOCK, J. F.; WATKINS, C. B. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 2, p. 201-209, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.008>

SCHROER, I. A.; SILVA, J.; BROCHIER, B.; SILVA, P. R. S.; SILVA, S. B.; HANSEN, E. Study of ozone misting for sanitization of hospital facilities: A CFD approach. **Ozone: Science & Engineering**, v. 45, n. 3, p. 305-319, 2023. <https://doi.org/10.1080/01919512.2022.2091512>

SILVA, M. V. A.; FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; SOUSA, A. H.; CECON, P. R.; NOGUEIRA, J. V. F.; MASON FILHO, V. Ozone injection at low pressure: Decomposition, control of *Sitophilus zeamais*, and popcorn kernel quality. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 66-78, 2022. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1937043>

SIMÕES, R. O.; SILVA, A. S. L.; FARONI, L. R. A.; SALOMÃO, L. C. C.; SILVA, G. N.; SANTOS, M. M.; MONTEIRO, R. P. Influence of post-harvest ozone application on the epicarp of 'Pedro Sato' guava fruits under storage conditions. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 18734-18744, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-153>

SOUZA, K. O.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; RABELO, M. C.; MIRANDA, M. R. A. Quality of acerola (*Malpighia emarginata*) treated with gibberelic acid and stored under refrigeration. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, p. 1-9, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017574>

SWAMI, S.; MUZAMMIL, R.; SAHA, S.; SHABEER, A.; OULKAR, A.; BANERJEE, K.; SINGH, S. B. Evaluation of ozonation technique for pesticide residue removal and its effect on ascorbic acid, cyanidin-3-glucoside, and polyphenols in apple (*Malus domestica*) fruits. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 301, p. 1-11, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5294-3>

TABAKOGLU, N.; KARACA, H. Effects of ozone-enriched storage atmosphere on postharvest quality of black mulberry fruits (*Morus nigra* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 276-281, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.044>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad.: Eliane R. Santarém et al., 3 ed., Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TIWARI, B. K.; O'DORNNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1119-1126, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

TOTI, M.; CARBONI, C.; BOTONDI, R. Postharvest gaseous ozone treatment enhances quality parameters and delays softening in cantaloupe melon during storage at 6 °C. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 487-494, 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8485>

VENDRAMINI, A. L. A.; TRUGO, L. C. Phenolic compounds in acerola fruit (*Malpighia punicifolia*, L.). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 15, n. 5, p. 664-668, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532004000500009>

VLASSI, E.; VLACHOS, P.; KORAROS, M. Effect of ozonation on table grapes preservation in cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, p. 2031-2038, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3117-y>

WHANGCHAI, K.; UTHAIBUTRA, J.; PHIYANALINMAT, S.; PENGPHOL, S.; NOMURA, N. Effect of ozone treatment on the reduction of Chlorpyrifos residues in fresh lychee fruits. **Ozone: Science & Engineering**, v. 33, n. 3, p. 231-235, 2011. <https://doi.org/10.1080/01919512.2011.554313>

WU, Q.; ZHU, X.; GAO, H.; ZHANG, Z.; ZHU, H.; DUAN, X.; QU, H.; YUN, Z.; JIANG, Y. Comparative profiling of primary metabolites and volatile compounds in Satsuma mandarin peel after ozone treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 153, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.008>

XUE, J.; CHEN, L.; WANG, H. Degradation mechanism of Alizarin Red in hybrid gas–liquid phase dielectric barrier discharge plasmas: Experimental and theoretical examination. **Chemical Engineering Journal**, v. 138, n.1-3, p. 120-127, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.05.055>

YANG, H.; LIU, J.; DANG, M.; ZHANG, B.; LI, H.; MENG, R.; QU, D.; YANG, Y.; ZHAO, Z. Galactosidase during Fruit Development and Ripening in Two Different Texture Types of Apple Cultivars. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, n. 539, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00539>

ZHANG, L.; WANG, Z.; SONG, Y.; LI, M.; YU, Q. Quality of vacuum packaged beef as affected by aqueous ozone and sodium citrate treatment. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n.1, p. 1475-1489, 2020. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1814322>

ZHAO, Z.; XU, G.; HAN, Z.; LI, Q.; CHEN, Y.; LI, D. Effect of ozone on the antioxidant capacity of “Qiushui” pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Qiushui) during postharvest storage. **Journal of Food Quality**, v. 36, n. 3, p. 190-197, 2013. <https://doi.org/10.1111/jfq.12021>

ZHOU, Z.; ZUBER, S.; CANTERGIANI, F.; SAMPERS, I.; DEVLIEGHERE, F.; UYTENDAELE, M. Inactivation of foodborne pathogens and their surrogates on fresh and frozen strawberries using gaseous ozone. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, n. 51, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00051>

CONCLUSÃO GERAL

O ozônio gasoso foi mais eficiente que a névoa ozonizada para preservar a cor da casca de lichia, especialmente quando aplicado na concentração de 10 mg L^{-1} . Na polpa de lichia, os efeitos dessas duas tecnologias de ozonização foram semelhantes e ambos não alteraram as características físico-químicas.

A névoa ozonizada diminuiu de forma satisfatória a incidência fúngica e bacteriana em morangos. Em comparação ao sistema convencional por imersão, a névoa ozonizada apresentou maior eficiência para redução de mesófilos aeróbios e preservação da aparência externa de morangos, independente da concentração, ou tempo de exposição adotado. A concentração de entrada de 20 mg L^{-1} otimizou a eficiência da névoa ozonizada na redução de fungos filamentosos e leveduras e vitamina C em morangos.

A água ozonizada em sistema de microbolhas se mostrou eficiente para descontaminação de acerolas, mas ocasionou danos na parte externa das frutas. A redução fúngica e bacteriana associada a preservação da qualidade é melhor alcançada, em períodos mais curtos de exposição ao ozônio. O tratamento de $5,60 \text{ mg L}^{-1}$ por 20 min foi a condição mais adequada para eliminação de microrganismos e preservação de características físico-químicas, com destaque para a vitamina C, nutriente de maior importância para a acerola.