



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RAYSA MADURO ALVES

**REVESTIMENTO COMESTÍVEL, OZÔNIO GASOSO E
NÉVOA OZONIZADA EM FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’**

CAMPINAS

2022

RAYSA MADURO ALVES

**REVESTIMENTO COMESTÍVEL, OZÔNIO GASOSO E
NÉVOA OZONIZADA EM FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, na Área de Tecnologia Pós-colheita.

Orientadora: Profa. Dra. Franciane Colares Souza Usberti

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA
PELA ALUNA RAYSA MADURO ALVES, E
ORIENTADA PELO PROFA. DRA.
FRANCIANE COLARES SOUZA USBERTI.

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

AL87r Alves, Raysa Maduro, 1991-
Revestimento comestível, ozônio gasoso e névoa ozonizada em figo 'Roxo de Valinhos' / Raysa Maduro Alves. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Franciane Colares Souza Usberti.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Ficus carica. 2. Sanitização. 3. Tecnologia pós-colheita. I. Usberti, Franciane Colares Souza, 1979-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Edible coating, gaseous ozone and ozonated mist on 'Roxo Valinhos' fig

Palavras-chave em inglês:

Ficus carica

Sanitization

Post-harvest technology

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Franciane Colares Souza Usberti [Orientador]

Eliane Aparecida Benato Rodrigues da Silva

Mara Ligia Biazotto Bachelli

Thais Queiroz Zorzeto Cesar

Juliana Aparecida Fracarolli

Data de defesa: 14-12-2022

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-3187-2744>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4561086856382754>

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Raysa Maduro Alves**, aprovada pela Comissão Julgadora em 14 de dezembro de 2022, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI

Prof. Dra. Franciane Colares Souza Usberti – Presidente e Orientadora

Dra. Eliane Aparecida Benato Rodrigues da Silva – Membro Titular

Dra. Mara Ligia Biazotto Bachelli – Membro Titular

Profa. Dra. Thais Queiroz Zorzeto Cesar – Membro Titular

Profa. Dra. Juliana Aparecida Fracarolli – Membro Titular

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

À Deus e Nossa Senhora Aparecida, por me guiarem e darem forças.

Aos meus pais, pelo apoio incansável e incondicional.

Ao meu marido, por tanto incentivo e amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), bolsa processo nº 149257/2017-1. Da mesma forma, agradeço à Unicamp, Feagri e à Dra. Franciane Usberti, por todo apoio, aprendizado, oportunidade de realização deste trabalho e obtenção deste título.

À CPG da Feagri pelos subsídios concedidos. Ao Santander pela bolsa de Mobilidade Estudantil, que me permitiu realizar meu intercâmbio em Lisboa e ao Dr. Domingos Almeida, pesquisador do Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade de Lisboa, pelo acolhimento e orientação no período em que lá estive.

À Dra. Eliane Benato, pesquisadora do Instituto Agrônômico (IAC), pelas inúmeras sugestões e auxílio na execução do trabalho com *Alternaria alternata*, sendo sempre tão solícita, simpática e atenciosa.

Ao Dr. Cristiano Andrade, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, por toda ajuda, apoio e disposição com as análises estatísticas.

Ao Vivaldo Manson, da MyOzone, pela parceria, apoio, atenção, suporte e toda ajuda na parte de geração de ozônio. Sua presença foi imprescindível na realização dos experimentos, minha eterna gratidão.

Ao Maurício Brotto, do Brotto Fig's, pela disposição no fornecimento dos figos nos padrões solicitados, atendendo, por muitas vezes, aos meus pedidos sem tanta antecedência.

Aos integrantes do Laboratório de Tecnologia Pós-colheita, em especial, à Aveline Kuyat, Cyntia Trevisan, Juliana Cardoso e Viviane Souza, grandes queridas que me ajudaram tantas vezes fosse com os experimentos, conversas ou momentos de descontração.

Às profissionais de saúde Evelyn Brandão e Daniela Marinho, pelo excelente e atencioso acompanhamento psicológico que me permitiu concluir esse doutorado. Só quem viveu uma pós-graduação é ciente do quanto tal ambiente/cenário acadêmico pode ser insalubre à saúde mental. Por isso, meu muito obrigada a essas duas competentes mulheres que tanto me ajudaram e me deram suporte até aqui.

À Mylaine Santos, minha amiga irmã que mesmo com toda a distância entre nossas cidades faz-se tão presente, querida e zelosa por mim.

Aos meus amigos/família portuguesa, Antônio Cardoso, Francisca Lebre, Marisa Ferreira e São França por todo acolhimento, carinho, amizade e torcida, em especial, durante o período do meu intercâmbio.

À Dra. Rívia Amaral, a quem eu costumo nomear de “um anjo” que Deus colocou em meu caminho para me iluminar. Muito obrigada por me ajudar tanto! Nada que eu diga é suficiente para agradecer seu tempo, sugestões e amizade.

À Dra. Rosa Helena Aguiar, aquela que foi uma espécie de mestre, mãe, amiga e um grande presente que o doutorado me deu. É impossível conseguir agradecer a você e sua família por tudo que fizeram e significam para mim, muitíssimo obrigada por tanto.

Às minhas amigas Dayane Peixoto, Dellen Moraes e Ticiane Vasco, por tanto incentivo, consolo, amor e compreensão. Maravilhosas, vocês enxergaram força em mim quando eu já não conseguia e de maneira incansável não me deixaram desanimar, cada uma a sua maneira. Obrigada por se fazerem presente e serem tão incríveis!

Ao meu Tio Rodrigo Alves, por toda torcida, orações, conversas, apoio e momentos de lazer e descontração. Sua presença é muito importante em minha vida!

À minha prima Tainá Maduro, por tanto me incentivar, dizendo que me considera um exemplo e que ter uma prima doutora é motivo de orgulho. Saiba que nossas conversas sobre espiritualidade e fé me ajudaram muito.

À Yasmim Rodrigues, minha parceira do mestrado para a vida, o quanto tenho a agradecê-la é imensurável. Amiga, obrigada por ter sido tão companheira incansável nessa aventura intensa que foi isso tudo, até o último momento. Aproveito para agradecer seu marido e meu grande amigo Rafael Rodrigues, por todo auxílio, recepção em sua casa e conselhos, bem como estendo esse agradecimento à família de ambos, que tanto me acolhe e cativa.

Ao meu irmão João Vitor Maduro, por todo carinho, amizade, companhia e ajudas mais inusitadas possíveis. Obrigada por tudo!

Aos meus pais, Cláudia e Luiz André Alves, os que foram incansáveis, singulares e extraordinários na vivência do que essa trajetória representou para mim. Sei que não foi fácil para vocês, por isso, obrigada infinitamente por tanta dedicação, amor, carinho, compreensão e apoio. Vocês são incríveis!

Ao meu marido, Lucas Cirilo, por toda paciência, carinho e incentivos, traduzidos em (inúmeros) gestos de amor, que tanto contribuíram para que a finalização desta tese fosse possível. Obrigada por toda ternura, conversas, leituras, compreensão e companhia!

À Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me sustentarem, guiarem e me dado forças quando até meu eu considerava que não conseguiria concluir essa jornada.

“Ninguém consegue remar sozinho. Encontre alguém para compartilhar sua vida. Faça tantos amigos quanto possível e nunca esqueça que seu sucesso depende de outros.

[...]

A vida é uma luta, e a possibilidade de fracasso está sempre presente, mas os que vivem com medo do fracasso, do sofrimento ou da vergonha nunca conquistarão seu pleno potencial. Sem forçar seus limites, sem vez ou outra se lançar sobre um obstáculo de cabeça, sem ousar, você nunca saberá o que seria verdadeiramente possível em sua vida.”

– William H. Mcraven –

Em Arrume sua Cama

RESUMO GERAL

A limitada proteção oferecida pela epiderme, presença do ostíolo e climatério ao longo do amadurecimento, fazem do figo (*Ficus carica* L.) um fruto altamente perecível e sensível ao aparecimento de danos que, na maioria vezes, levam a deterioração da qualidade e perdas expressivas do produto, como atualmente ocorre na cadeia de produção do figo 'Roxo de Valinhos'. O revestimento comestível é um método considerado cada vez mais viável na conservação de frutas e hortaliças, pois possibilita a redução da perda de massa, alterações de textura, bem como o incremento da integridade mecânica e aparência dos frutos. Assim como os demais produtos hortícolas, o figo tende a ser um potencial veículo de microrganismos provenientes do campo para o armazenamento e comercialização, refletindo em perdas significativas. Em função de sua epiderme porosa, não são utilizados tratamentos para sua sanitização, sendo então o ozônio um método de controle de microrganismos interessante, pois possui um amplo espectro biocida com ausência de resíduos nocivos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo testar a hipótese de que a sanitização com ozônio e aplicação de cobertura comestível à base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio prolongam a vida pós-colheita do figo 'Roxo de Valinhos', uma vez que diminuem as contaminações microbiológicas e perda de massa, bem como avaliar a necessidade da adição de um agente plastificante, o sorbitol. Nos experimentos com cobertura comestível, os figos foram revestidos com 2% fécula de mandioca (FM), 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio + 20% de sorbitol (FM + CaCl₂ + S), obtida por meio da gelatinização do amido, via imersão e pulverização. O estudo foi conduzido em esquema fatorial 3 x 2 (3 doses e 2 vias de aplicação) à temperatura de 19,81 ± 1,46 °C e umidade relativa de 76,24 ± 18,30% e os tratamentos avaliados aos 0, 3, 6 e 9 dias após a aplicação do tratamento em relação à perda de massa e incidência de podridão, sendo comparados com um tratamento controle (frutos não tratados). O revestimento com cobertura formulada com fécula de mandioca a 2% aplicado via imersão proporcionou menores valores de perda de massa fresca e incidência de podridão em figo 'Roxo de Valinhos'. Já no estudo do efeito do ozônio, o crescimento micelial e porcentagem de inibição foram avaliados *in vitro* para verificar se a névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) aplicados por 5 e 30 minutos, respectivamente, atuavam no desenvolvimento do fungo durante 7 dias de incubação em estufa BOD (25,4 ± 2,2 °C). Nos ensaios *in vivo*, figos 'Roxo de Valinhos' foram inoculados com *A. alternata* (1,1 x 10⁵ esporos ml⁻¹) 4 horas antes dos

tratamentos com névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) aplicados por 5 e 30 minutos, respectivamente. Posteriormente, a incidência e severidade do fungo foram avaliadas nos frutos armazenados a $25,4 \pm 2,2$ °C e $72,5 \pm 1,2\%$ UR por 4 dias. A aplicação de ozônio tanto na forma de névoa quanto de gás controlou e inibiu o crescimento de *Alternaria alternata*, sendo a concentração de 20 uL L⁻¹ na forma gasosa a com melhor desempenho. Conclui-se que o revestimento comestível a base de fécula de mandioca e a sanitização com ozônio na forma gasosa mostraram-se como técnicas promissoras na conservação da qualidade física e biológica de figo ‘Roxo de Valinhos’.

Palavras-chave: *Ficus carica* L., sanitização, cobertura comestível.

ABSTRACT

The limited protection offered by the epidermis, presence of the ostiole and climacteric during ripening, make the fig (*Ficus carica* L.) a highly perishable fruit and sensitive to the appearance of damages that, in most cases, lead to deterioration of quality and expressive losses. of the product, as currently occurs in the 'Roxo de Valinhos' fig production chain. The edible coating is a method considered increasingly viable in the preservation of fruits and vegetables, as it allows the reduction of weight loss, changes in texture, as well as the increase of the mechanical integrity and appearance of the fruits. Like other horticultural products, figs tend to be a potential vehicle for microorganisms from the field for storage and commercialization, resulting in significant losses. Due to its porous epidermis, treatments are not used for its sanitization, so ozone is an interesting method of controlling microorganisms, as it has a broad biocidal spectrum with the absence of harmful residues. In this context, this work aimed to test the hypothesis that sanitization with ozone and the application of an edible coating based on cassava starch and calcium chloride prolong the post-harvest life of 'Roxo de Valinhos' figs, since they reduce the microbiological contamination and weight loss, as well as evaluating the need for the addition of a plasticizing agent, sorbitol. In experiments with edible coating, figs were coated with 2% cassava starch (FM), 2% cassava starch + 3% calcium chloride (FM + CaCl₂) and 2% cassava starch + 3% calcium chloride + 20 % of sorbitol (FM + CaCl₂ + S), obtained through starch gelatinization, via immersion and spraying. The study was carried out in a 3 x 2 factorial scheme (3 doses and 2 routes of application) at a temperature of 19.81 ± 1.46 °C and relative humidity of $76.24 \pm 18.30\%$ and the treatments evaluated at 0, 3, 6 and 9 days after application of the treatment in relation to weight loss and incidence of rot, being compared with a control treatment (untreated fruits). The coating with coverage formulated with 2% cassava starch applied via immersion provided lower values of loss of fresh mass and incidence of rot in 'Roxo de Valinhos' fig. In the study of the effect of ozone, the mycelial growth and percentage of inhibition were evaluated *in vitro* to verify if the ozonized mist (0, 10, 20 and 40 uL L⁻¹) and ozone gas (10, 20 and 40 uL L⁻¹) applied for 5 and 30 minutes, respectively, acted on the development of the fungus during 7 days of incubation in a BOD oven (25.4 ± 2.2 °C). In the *in vivo* assays, 'Roxo de Valinhos' figs were inoculated with *A. alternata* (1.1×10^5 spores ml⁻¹) 4 hours before treatments with ozonated mist (0, 10, 20 and 40 uL L⁻¹) and ozone gas (10, 20 and 40 uL L⁻¹) applied for 5 and 30 minutes, respectively. Subsequently, the incidence and severity of the fungus were evaluated in fruits stored at 25.4 ± 2.2 °C and $72.5 \pm 1.2\%$ RH for

4 days. The application of ozone both in the form of mist and gas controlled and inhibited the growth of *Alternaria alternata*, being the concentration of 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ in the gaseous form the one with the best performance. It is concluded that the edible coating based on cassava starch and the sanitization with ozone in gaseous form were enchanted as promising techniques in the conservation of the physical and biological quality of fig 'Roxo de Valinhos'.

Keywords: *Ficus carica* L., sanitization, edible coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2. FÉCULA DE MANDIOCA NO REVESTIMENTO DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’

Figura 1. Perda de massa de figos ‘Roxo de Valinhos’ revestidos com fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca e cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca, cloreto de cálcio e sorbitol (FM + CaCl₂ + sorbitol) via pulverização (a) e imersão (b), armazenados por 9 dias a $19,81 \pm 1,46$ °C e umidade relativa de $76,24 \pm 18,30\%$. A faixa horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão..... 48

Figura 2. Incidência de podridão em figos ‘Roxo de Valinhos’ revestidos com fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca e cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca, cloreto de cálcio e sorbitol (FM + CaCl₂ + sorbitol) via pulverização (a) e imersão (b), armazenados por 9 dias a $19,81 \pm 1,46$ °C e umidade relativa de $76,24 \pm 18,30\%$. A faixa horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão..... 50

CAPÍTULO 3. NÉVOA OZONIZADA E OZÔNIO GASOSO NO CONTROLE DE ALTERNARIA ALTERNATA. NA PÓS-COLHEITA DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’

Figura 1. Diagrama descritivo do sistema de aplicação de névoa ozonizada (A) e ozônio gasoso (B). 58

Figura 2. Efeito das concentrações de névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) (a) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) (b) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para incidência de podridão por *Alternaria alternata* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado com *Alternaria alternata* 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80\%$ UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão.....63

Figura 3. Efeito da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para incidência (a) e severidade (b) de podridão por *Alternaria alternata* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado com *Alternaria alternata* 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80\%$ UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente

diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão. 63

Figura 4. Efeito das concentrações de névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) e gás ozônio (10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para severidade de podridão por *Alternaria* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80\%$ UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão. 64

DISCUSSÃO GERAL

Figura 1. Revestimento de frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ via imersão (a) em cobertura a base de fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca + cloreto de cálcio (FM + CaCl_2) e fécula de mandioca + cloreto de cálcio + sorbitol (FM + CaCl_2 + S) com posterior secagem ao ar (b). 72

Figura 2. Revestimento de frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ via aspersão (a) em cobertura a base de fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca + cloreto de cálcio (FM + CaCl_2) e fécula de mandioca + cloreto de cálcio + sorbitol (FM + CaCl_2 + S) com posterior secagem ao ar (b). 73

Figura 3. Incubação de figos ‘Roxo de Valinhos’ para isolamento dos patógenos. 75

Figura 4. Isolamento de *Alternaria* spp. de fruto de figo ‘Roxo de Valinhos’ 75

Figura 5. Aplicação de gás ozonizado (A) e névoa ozonizada (B) em frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ 77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Composição química aproximada por 100g de figo cru e seco (não cozido).....27

CAPÍTULO 3. NÉVOA OZONIZADA E OZÔNIO GASOSO NO CONTROLE DE ALTERNARIA SPP. NA PÓS-COLHEITA DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’

Tabela 1. Efeito in vitro da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) no índice de crescimento micelial (ICM) de *Alternaria alternata* ao longo de 7 dias de incubação a 25,4 ± 2,2 °C e 72,5 ± 1,2% UR. 61

Tabela 2. Efeito in vitro da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) na percentagem de inibição de *Alternaria alternata* ao longo de 7 dias incubadas a 25,4 ± 2,2 °C e 72,5 ± 1,2% UR. 62

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1. Introdução	18
2. Objetivos	20
2.1. Objetivo geral.....	20
2.2. Objetivos específicos	20
3. Organização da tese	20
4. Referências bibliográficas.....	22
CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
1. Aspectos gerais sobre o figo	24
1.1. Origem, morfologia e tipos	24
1.2. O figo ‘Roxo de Valinhos’	24
1.3. Aspectos da produção e consumo	25
1.4. Composição dos frutos e componentes de qualidade.....	26
1.5. Conservação pós-colheita.....	27
2. Cobertura comestível.....	28
3. Ozônio.....	30
3.1. Ozônio como um sanitizante alternativo.....	31
3.2. Ozônio como agente antimicrobiano.....	32
3.3. Ozônio no tratamento pós-colheita de frutas e hortaliças	33
4. Referências bibliográficas.....	36
CAPÍTULO 2. FÉCULA DE MANDIOCA NO REVESTIMENTO DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’	43
Resumo.....	44
1. Introdução	44
2. Material e métodos.....	46
3. Resultados e discussão	47
4. Referências bibliográficas.....	52
CAPÍTULO 3. NÉVOA OZONIZADA E OZÔNIO GASOSO NO CONTROLE DE <i>ALTERNARIA ALTERNATA</i> NA PÓS-COLHEITA DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’	54
Resumo.....	55
1. Introdução	55
2. Material e Métodos	57
2.1. Ensaios <i>in vitro</i>	57
2.2. Ensaios <i>in vivo</i>	59
3. Resultados	60

3.1. Ensaio <i>in vitro</i>	60
3.2. Ensaio <i>in vivo</i>	62
4. Discussão.....	64
5. Conclusão.....	67
6. Referências bibliográficas.....	68
DISCUSSÃO GERAL	70
1. Revestimento comestível em figo ‘Roxo de Valinhos’	71
2. Ozônio gasoso e névoa ozonizada em figo ‘Roxo de Valinhos’	74
CONCLUSÕES GERAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	83

INTRODUÇÃO GERAL

1. Introdução

O figo (*Ficus carica* L.) é um dos frutos mais antigos da história, com relatos do seu uso documentado na Bíblia Sagrada (Amos 7:14). No Brasil, a variedade mais produzida e, conseqüentemente, de maior apelo comercial é a ‘Roxo de Valinhos’, caracterizada pela coloração arroxeada e bons aspectos sensoriais. Com safra concentrada nos meses de novembro a março, período da entressafra do maior produtor mundial de figos, a Turquia, esse fruto tem a possibilidade de ser exportado fresco para o mercado europeu.

No entanto, o figo *in natura* é altamente perecível e sensível acarretando perdas do produto ao longo do processo de comercialização. Tal fato não é devido apenas a sua morfologia delicada, epiderme sensível e presença de ostíolo aberto, que permite a entrada de microrganismos, mas também por ação do intenso processo de transporte e armazenagem a que os frutos são submetidos, muitas vezes envolvendo oscilações de temperatura, embalagens inadequadas e danos mecânicos.

A prática mais usual de conservação pós-colheita baseia-se no uso da cadeia de frio, visto que o armazenamento sob baixas temperaturas reduz a atividade metabólica tanto de vegetais quanto de microrganismos (ASSIS *et al.*, 2008). Essa técnica permite o controle da respiração e transpiração do fruto depois de colhido, de forma a propiciar maior vida útil do produto, bem como a conservação das características de preferência do consumidor, possibilitando o armazenamento por períodos mais longos e a sua comercialização *in natura* em centros mais distantes. Porém, o controle efetivo ideal da temperatura requer a sua redução a partir da colheita e manutenção até a comercialização e consumo, despendendo alto custo e complexidade (ASSIS e BRITTO, 2017).

Tecnologias alternativas têm sido desenvolvidas no intuito de prolongar a qualidade e vida útil de hortícolas, porém com menor custo; nesse âmbito, os revestimentos comestíveis tendem a ser cada vez mais explorados e empregados de forma isolada ou associada às técnicas, como a refrigeração. Coberturas ou revestimentos comestíveis equivalem ao recobrimento do fruto com uma fina película formulada à base de biopolímero de origem animal, vegetal ou pela combinação de ambos, cujo principal objetivo é atenuar as transferências gasosas e de umidade, conseqüentemente melhorando a aparência dos frutos e prolongando sua vida útil pós-colheita.

A escolha do material a ser utilizado varia com a característica alvo do produto a ser revestido. A fécula de mandioca é um polissacarídeo que tem se destacado como uma matéria prima na formulação de revestimentos comestíveis devido ao fato de apresentar boas características de formação de película, bem como pelo seu baixo custo e ausência de toxicidade. Além disso, diversos são os estudos que mostram o seu interessante desempenho no que tange à diminuição da perda de massa, taxa respiratória e prolongamento do período pós-colheita de diferentes frutos (ASSIS *et al.*, 2008; SAPPER e CHIRALT, 2018)

Como dito anteriormente, o figo sofre não apenas com a sua epiderme sensível como também com a presença de ostíolo, cavidade natural que liga o exterior ao receptáculo, ou seja, uma porta de entrada de microrganismos. Em função de sua epiderme porosa, nenhum método de sanitização é atualmente utilizado em figo, entretanto, assim como outras hortícolas, esse acaba por ser um veículo de fungos e bactérias ao longo de sua armazenagem e comercialização.

O ozônio é um poderoso agente oxidante, livre de geração de resíduos, considerado GRAS (Generally Recognized As Safe) pela United States Food and Drug Administration (FDA) e aceito internacionalmente. Mesmo em pequenas quantidades e tempo de exposição é capaz de oxidar uma ampla gama de microrganismos e atuar como um possível substituto ao hipoclorito de sódio, que já vem sendo proibido em diversos países (UE, 2020).

São inúmeros os relatos de doenças, decomposição e perdas economicamente importantes causadas pelo gênero *Alternaria* em uma ampla gama de vegetais (THOMMA, 2003; TZORTZAKIS *et al.*, 2008; TRONCOSO-ROJAS *et al.*, 2009; STOCCO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2021), devido ao fato de que algumas de suas espécies são fitopatogênicas. Por isso, é válido um olhar em busca de alternativas eficazes de controle, pois tais fitopatogenicidades afetam as culturas agrícolas não só no campo, mas também na pós-colheita, uma vez que o crescimento desse fungo ocorre mesmo em baixas temperaturas, possibilitando a deterioração das *commodities* ao longo do transporte refrigerado e armazenamento (OSTRY, 2008).

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo é testar a hipótese de que a sanitização com ozônio e a aplicação da cobertura comestível à base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio retardam o amadurecimento e senescência do figo ‘Roxo de Valinhos’, prolongando sua vida pós-colheita.

2.2. Objetivos específicos

- i. Definir a concentração e composição ideal da cobertura a base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio para cada método de aplicação (imersão e aspersão), e avaliar a perda de massa e incidência de podridão do figo ‘Roxo de Valinhos’.
- ii. Definir a concentração e tempo de aplicação mais adequados da sanitização por meio de ozônio gasoso e névoa ozonizada em figos ‘Roxo de Valinhos’, avaliando o efeito na sua perda de massa e incidência de podridão pós-colheita.
- iii. Avaliar o efeito da névoa ozonizada e ozônio gasoso sobre o crescimento *in vitro* de *Alternaria alternata*, comparando seus resultados.
- iv. Avaliar o efeito curativo da névoa ozonizada e ozônio gasoso em figos ‘Roxo de Valinhos’ inoculados com *Alternaria alternata*, comparando seus resultados.

3. Organização da tese

Esta tese está segmentada em capítulos, os quais abordam a aplicação de conceitos teóricos na realização de experimentos laboratoriais com o intuito da resolução do problema objeto deste trabalho.

Inicialmente é apresentada uma introdução seguida pelos objetivos do trabalho, com a finalidade de apresentar a tese. O capítulo 1 aborda uma revisão bibliográfica, levantando fundamentos teóricos da literatura de importância para a cultura da figueira e, em especial, do figo ‘Roxo de Valinhos’, bem como sobre revestimento comestível e ozônio.

Os capítulos 2 e 3 abordam estudos com cobertura comestível e aplicação de ozônio no controle de *Alternaria alternata*, respectivamente, e foram redigidos em formato de artigo científico. No capítulo 2 intitulado “Fécula de Mandioca no Revestimento de Figo ‘Roxo de Valinhos’”, são apresentados resultados de uma investigação do efeito do revestimento a base de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de figo ‘Roxo de Valinhos’. Para isso, uma

cobertura à base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio com e sem o plastificante sorbitol foi aplicada via imersão e aspersão nos frutos. Já o capítulo 3 é o resultado da avaliação da névoa ozonizada e ozônio gasoso no controle do crescimento *in vitro* e *in vivo* de *Alternaria alternata*. No experimento *in vitro*, discos de micélios do fungo foram colocados em placas de Petri e no *in vivo*, o fungo foi inoculado em frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’.

Por fim, no capítulo 4 é apresentada uma discussão geral deste trabalho de pesquisa, seguido pelas referências bibliográficas e conclusões finais.

4. Referências bibliográficas

ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. Coberturas comestíveis sobre frutas e hortaliças: fundamentos e prática. *In*: FERREIRA, M.D. (Ed.). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, p.185-203, 2017.

ASSIS, O.B.G.; RIBEIRO, M.M.M.; ATARASSI, M.E.; LIMA, G.P.P.; FERREIRA, M.D. Aplicação de ceras em frutas e hortaliças. *In*: FERREIRA, M.D. (Ed.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p.76-85, 2008.

OSTRY, V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. **World mycotoxin journal**, v.1, n.2, p.175-188, 2008, [doi: 10.3920/wmj2008.x013](https://doi.org/10.3920/wmj2008.x013).

SAPPER, M.; CHIRALT, A. Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. **Coatings**, v.8, n.5, p.152, 2018, [doi: 10.3390/coatings8050152](https://doi.org/10.3390/coatings8050152).

STOCCO, A.F.; DIAZ, M.E.; ROMERA, M.C.R.; MERCADO, L.A.; RIVERO, M.L.; PONSONE, M.L. Biocontrol of postharvest Alternaria decay in table grapes from Mendoza province. **Biological control**, v. 134, p. 114-122, 2019, [doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.03.019](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.03.019).

THOMMA, B.P.H.J., 2003, *Alternaria alternata*: from general saprophyte to specific parasite. **Molecular plant pathology**, v.4, n.4, p.225-236, [doi: 10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X](https://doi.org/10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X).

TRONCOSO-ROJAS, R., CORRAL-ACOSTA, Y.; SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; GARCÍA-ESTRADA, R.; AGUILAR-VALENZUELA, A.; OJEDA-CONTRERAS, J.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M.E. Postharvest treatment of isothiocyanates to control Alternaria rot in netted melon. **Phytoparasitica**, v.37, p.445-45, 2009, [doi: 10.1007/s12600-009-0062-3](https://doi.org/10.1007/s12600-009-0062-3).

TZORTZAKIS, N.G., SINGLETON, I.; BARNES, J.D. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.47, p.1-9, 2008, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.004](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.004).

UNIÃO EUROPEIA (UE). Regulamento (UE) 2020/749. **Jornal Oficial da União Europeia**, 14p., 2020, disponível em: <eur-lex.europa.eu/>.

WANG, F.; SAITO, S.; MICHAILIDES, T.J.; XIAO, C-L. Postharvest use of natamycin to control Alternaria rot on blueberry fruit caused by *Alternaria alternata* and *A. arborescens*. **Postharvest Biology and Technology**, v.172, 6p., 2021, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111383](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111383).

CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Aspectos gerais sobre o figo

1.1. Origem, morfologia e tipos

A figueira cultivada (*Ficus carica* L.) é um membro da família Moraceae e considerada uma das primeiras árvores frutíferas cultivadas no mundo; há relatos de que as figueiras poderiam ter sido domesticadas antes dos cereais por cerca de mil anos (KISLEV *et al.*, 2006). Originário da região mediterrânea, o figo é, na verdade, uma flor invertida, cujas sementes são o verdadeiro fruto (VINSON *et al.*, 1999), assim, é classificado botanicamente como um “fruto falso” ou sicônio. O interior do seu receptáculo é oco e sua parede forrada com vários frutos geralmente chamados de “semente” do figo e, na parte terminal, possui uma pequena abertura denominada ostíolo ou “olho” que liga a cavidade do receptáculo com o exterior (STOVER *et al.*, 2007).

Geralmente, os figos são categorizados em tipos, principalmente com base na biologia floral e comportamento de polinização. Basicamente, existem dois: caprifigos e comestíveis. Os caprifigos são caracterizados por possuírem flores masculinas e femininas no sicônio (têm uma morfologia hermafrodita) e não comestíveis, mas podem servir como fonte de pólen em uma prática conhecida como caprificação. Assim, são cultivados comercialmente três tipos de figos, denominados de Esmirna, Comum e São Pedro. A Esmirna, ou Caducosa, requer polinização por meio de vespas (*Blastophaga psenes*) para estabelecer as colheitas, pois sem isso o fruto cai antes de amadurecer. O tipo Comum, também chamado de Persistente, são frutos partenocárpicos que possuem apenas flores femininas no interior da síncona e não necessitam do estímulo da polinização para maturar os frutos tanto de primeira safra (brebas) quanto de segunda safra (safra principal) de figos. São Pedro é um grupo que reúne características de outros dois tipos de figos comestíveis, porque produz brebas partenocarpicamente e posteriormente, a segunda safra, somente após a caprificação, por isso, é designado como grupo Intermediário (CONDIT, 1947; CONDIT, 1955, HIMELRICK, 1999; FLAISHMAN *et al.*, 2008).

1.2. O figo ‘Roxo de Valinhos’

A variedade Roxo de Valinhos é uma das principais do grupo Comum. Os frutos possuem cerca de 70 a 100 gramas, casca fina e macia e, quando maduro, apresentam coloração externa roxo-avermelhada, polpa de tonalidade vermelho-rosada e ostíolo aberto que,

inconvenientemente, facilita a contaminação por fungos e insetos (PENTEADO, 1999). Tal variedade é o alicerce da produção brasileira. Em 473 hectares, o Estado de São de Paulo foi responsável pela produção de 8.833 toneladas, o equivalente a 45,06% das 19.601 toneladas colhidas em 2020 no Brasil em 2.114 hectares destinados à cultura. Desse montante, as cidades de Campinas e Valinhos, inseridas na principal região produtora do Estado, produziram 2.016 e 5.401 toneladas, respectivamente, o que evidencia a importância da atividade agrícola para a região (IBGE, 2022).

1.3. Aspectos da produção e consumo

O cultivo de figo é privilegiado nas zonas de clima mediterrânico. Em 2016 a produção mundial foi de 1.081.405 toneladas e distribuiu-se em 46,6% na Ásia, 37% na África, 9,8% na Europa e 6,5% nas Américas, das quais 23.873 toneladas produzidas pelo continente americano foram exportadas, com um faturamento de US\$ 72.392.000. Neste ano, a Turquia foi responsável por cerca de 28% da produção mundial de figo fresco, sendo o principal produtor mundial (305.450 t), seguido pelo Egito (183.794 t), Argélia (120.348 t), Irã (69.914 t), Marrocos (59.881 t), Espanha (45.718 t), República Árabe Síria (43.091 t), Estados Unidos da América (29.660 t), Brasil (26.910 t) e Tunísia (22.500 t), respectivamente (FAO, 2019).

A figueira se adapta bem a diversas condições de solos e climas, mas a produção de uma ou duas safras depende da cultivar. Enquanto os figos da safra principal são desenvolvidos por flores que emergem nas axilas das folhas da safra atual, os frutos da safra breba são produzidos em brotos velhos de flores que foram desenvolvidas no ano anterior e os frutos são maiores e mais suculentos do que os da segunda safra (PEREIRA *et al.*, 2015; VILLALOBOS *et al.*, 2015). O crescimento e desenvolvimento do figo é descrito por uma curva sigmóide dupla dividida em três fases distintas, que são dois períodos de crescimento rápido separados por um período de crescimento lento. A primeira fase, ocorre aproximadamente nas primeiras seis semanas e consiste em intensa divisão e diferenciação celular caracterizada pelo rápido aumento do diâmetro. Na segunda etapa, por volta das quatro semanas sucessivas, a atividade mitótica cessa e o crescimento do diâmetro é reduzido. Então, o terceiro estágio de crescimento durante cerca de quatro semanas antes da maturação é caracterizado por uma rápida expansão celular, aumento no crescimento do diâmetro e ocorrem mudanças na cor e textura do fruto (MAREI E CRANE, 1971; CHESSA, 1997; CRISOSTO *et al.*, 2011).

Embora a figueira (*Ficus carica* L.) seja indiscutivelmente uma das primeiras plantas domesticada (KISLEV *et al.*, 2006), a cultura e o fruto têm recebido pouca atenção na literatura

científica hortícola. O figo continua sendo uma cultura “menor” ou especial em todo o mundo, com potencial para crescer à medida que os consumidores exigem novidade e dieta diversificada, uma vez que são frutos saudáveis e nutritivos. Outro aspecto positivo é que esses frutos apresentam praticidade de consumo e atraem os consumidores pelo tamanho, sabor e diversas possibilidades de serem consumidas.

No Estado de São Paulo, a expressividade da cultura pode ser justificada tanto pela praticidade de consumo como composição nutricional do fruto que podem promover inúmeros benefícios à saúde humana, visto que cada vez mais tem havido uma demanda por alimentos benéficos à saúde, ricos em compostos que promovam a longevidade, previnam ou combatam doenças crônicas como câncer e doenças cardíacas. O fruto é uma importante fonte de alimentação humana, principalmente na dieta mediterrânea, conhecida por apresentar níveis elevados de antioxidantes derivados principalmente de vegetais e frutas, podendo ser consumido seco e fresco, inteiro e com casca, mas, na maioria das vezes, não se come a pele (SOLOMON *et al.*, 2006).

1.4. Composição dos frutos e componentes de qualidade

A composição do figo está bem descrita na literatura e pode ser consultada na base de dados do United States Department of Agriculture (USDA) (Tabela 1). É possível verificar que os figos, frescos e secos, são frutos nutritivos, com baixíssimo teor de sódio e isentas de colesterol como outras frutas e hortaliças, além de uma importante fonte de carboidratos, tais como açúcares, fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes (Vinson, 1999; Viuda-Martos *et al.*, 2015). Além disso, os figos crus e secos são ricos em fibras, cálcio e ferro em comparação com outras frutas comuns como maçã, banana, laranja e ameixa (USDA).

Em frutos da figueira, a maioria dos compostos com atividade antioxidante, como polifenóis, antocianinas e flavonóides, estão localizados na casca do figo e, em maior proporção, naqueles com casca preta (SOLOMON, 2006; PIGA *et al.*, 2008). Em um estudo realizado em duas cultivares de figo, uma preta e uma branca, Piga *et al.* (2008) descreve que os fenóis foram concentrados quase exclusivamente na casca, em quantidades de 723 a 1450 mg/kg (base fresca) para figos brancos e pretos, respectivamente. A casca dos figos pretos apresentou um teor apreciável de antocianinas, que foram os únicos compostos polifenólicos detectados na polpa e não foram encontradas catequinas. Solomon *et al.* (2006) observaram que a casca dos frutos analisados de seis variedades comerciais de figos de diferentes cores (preto,

vermelho, amarelo e verde) continha o maior teor de polifenóis, flavonóides e antocianinas, que constituíam os principais compostos corantes.

Tabela 1. Composição química aproximada por 100g de figo cru e seco (não cozido).

Composição	Cru	Seco
Água	79,11 g	30,05 g
Calorias	74 kcal	249 kcal
Proteína	0,75 g	3,30 g
Lipídio total (gordura)	0,30 g	0,93 g
Carboidrato	19,18 g	63,87 g
Fibra	2,90 g	9,80 g
Açúcares, total	16,26 g	47,92 g
Cálcio	35 mg	162 mg
Ferro	0,37 mg	2,03 mg
Magnésio	17 mg	68 mg
Fósforo	14 mg	67 mg
Potássio	232 mg	680 mg
Sódio	1 mg	10 mg
Zinco	0,15 mg	0,55 mg
Ácido ascórbico	2,0 mg	1,20 mg

Fonte: USDA, 2022.

1.5. Conservação pós-colheita

O figo é um fruto de comportamento climatérico, ou seja, tem a capacidade de amadurecer mesmo depois de colhido. Em condições de armazenagem a 5 °C, o ‘Roxo de Valinhos’ apresenta atividade respiratória e produção de etileno moderadas, em torno de 10-20 mg CO₂ kg⁻¹ha⁻¹ e 1,0-10,0 mL C₂H₄ kg⁻¹ha⁻¹, respectivamente (DURIGAN, 1999), enquanto à temperatura de 10 °C, 20 °C e 25 °C, Souza & Ferraz (2004) e Souza (2007) relataram valores de respiração iguais a 50 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, 150 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e 175 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, respectivamente.

Sendo assim, são frutos muito perecíveis, com curta vida útil de armazenamento e pós-colheita, em torno de 7-10 dias em condições de baixas temperaturas (de -1 °C a 0 °C) e alta umidade relativa (90-95%) (MAREI e CRANE, 1971; CRISOSTO *et al.*, 2011). A vida útil do figo também é suscetível a microrganismos, o que pode limitar a comercialização. São diversos os fungos causadores de doenças nos frutos da figueira, Souza (2012) identificou

Lasiodiplodia theobromae, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata* e *Fusarium* spp. em frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ provenientes da região de Campinas

Visando preservar a qualidade e evitar perdas ao longo da cadeia de comercialização, o ponto de maturação ideal para a colheita é estabelecido conforme o mercado consumidor alvo (*in natura*, industrialização ou exportação). Entretanto, ao longo do processo de exportação, o figo é submetido a condições de armazenagem e transporte que, na maior parte das vezes, são inadequadas e fazem com que os frutos destinados à exportação sejam colhidos mais verdes e, conseqüentemente, comercializados com aspecto e qualidade inferiores aos do mercado europeu (SOUZA, 2007). Sabe-se que o processo de amadurecimento, perceptível pelas alterações de cor, sabor, aroma e textura tanto nas frutas quanto hortaliças, é decorrente de processos fisiológicos e reações bioquímicas que não podem ser interrompidos nem revertidos, contudo, podem ser minimizados por procedimentos exógenos que retardem ou reduzam a intensidade de tais reações (ASSIS e BRITTO, 2017).

2. Cobertura comestível

Tecnologias alternativas têm sido desenvolvidas no intuito de prolongar a qualidade e vida útil de hortícolas, porém com menor custo. Nesse âmbito, os revestimentos comestíveis tendem a ser cada vez mais explorados e empregados de forma isolada ou associada à demais técnicas como refrigeração e diversos tipos de embalagens.

As coberturas comestíveis consistem em uma fina película biopolimérica de origem animal, vegetal ou da combinação de ambos, que podem ser consumidas. A principal função de tais revestimentos é a proteção do alimento, atuando como uma barreira à transferência de umidade, gases e solutos com o ambiente, assim como de melhorar a integridade mecânica e a aparência dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005). A aplicação de coberturas preenche parcialmente os estômatos e lenticelas do produto revestido, reduzindo, dessa forma, a transferência de umidade (transpiração) e as trocas gasosas (respiração). Uma vez que o início do processo de maturação está diretamente associado ao aumento na produção de etileno, no qual se faz necessário a presença de O₂, a redução da permeação do O₂ para o interior do fruto resulta na redução da síntese de tal hormônio, permitindo, em princípio, prolongar a vida do fruto (ASSIS *et al.*, 2008).

As coberturas têm recebido considerável atenção nos últimos anos não somente pelo significativo papel que ocupam na manutenção dos parâmetros de qualidade, mas também devido às suas vantagens sobre os filmes artificiais quanto à biodegradabilidade e menor

impacto ao meio ambiente, embora a principal vantagem seja que, por serem não tóxicos e hidrossolúveis, são assim passíveis de serem ingeridas com os produtos. Essas são produzidas a partir de formulações fundamentadas em produtos renováveis, associados a ingredientes e plastificantes naturais que, portanto, se degradam de maneira ambientalmente amigável (BOUTOOM *et al.*, 2006; FORATO *et al.*, 2011, PAOLUCCI *et al.*, 2020). É importante salientar que o objetivo dos revestimentos é atuar de maneira coadjuvante e não substituir ou descartar o emprego de embalagens ou cadeia de frio (ASSIS e BRITTO, 2014). Entretanto, podem substituir as embalagens plásticas que visam evitar a perda de massa do produto, contribuindo para a redução do uso de embalagens poliméricas e incentivando o de materiais biodegradáveis (PAOLUCCI *et al.*, 2020).

Substâncias tais como plastificantes, ceras, óleos, agentes antimicrobianos, minerais e vitamínicos comumente podem ser adicionados à constituição do revestimento a fim melhorar suas propriedades e, conseqüentemente, o seu desempenho. Os plastificantes são incorporados com a finalidade de aprimorar as características mecânicas, tal como flexibilidade, viscosidade e resistência dos filmes; os mais utilizados são os polióis, como glicerol e o sorbitol, mono, di ou oligossacarídeos, lipídeos e ácido oleico (ASSIS *et al.*, 2008). Já o cálcio, que possui a importante função de promoção de resistência à parede celular e, portanto, manutenção da firmeza do fruto tem tido eficiência comprovada na pós-colheita quando aplicado sob a forma de cloreto de cálcio. Em pêssegos, por exemplo, Manganaris *et al.* (2007) observaram aumento da firmeza do tecido e menor susceptibilidade à transtornos fisiológicos após o armazenamento sob frio prolongado. Os resultados de Paolucci *et al.* (2020) mostraram que a inclusão de um componente com alta atividade antioxidante e antimicrobiana (quitosana) no revestimento comestível de polissacarídeos ativos (alginato de sódio e ágar) é excelente para preservar as propriedades microbianas, antioxidantes e mecânicas dos figos frescos.

A escolha do tipo de material empregado nos revestimentos comestíveis depende essencialmente das características do produto a ser recoberto e do objetivo alvo almejado com o revestimento aplicado. Os polissacarídeos, lipídios (ceras) e proteínas são as classes de materiais mais empregados (ASSIS e BRITTO, 2014).

Dentre os filmes à base de polissacarídeos, a fécula de mandioca destaca-se como uma alternativa interessante a ser usada na conservação de frutas e hortaliças, pois apresenta boas características para a formação de películas, baixo custo quando comparado às ceras comerciais e não apresentar toxidez à ingestão mesmo em concentrações elevadas (CEREDA *et al.*, 1992). A obtenção desse revestimento baseia-se no princípio da gelatinização, acima de

70 °C, e que na presença de excesso de água o amido geleificado forma géis que ao ser resfriado, desidrata e origina películas rígidas e transparentes (CEREDA *et al.*, 1995).

Em goiabas ‘Kumagai’, armazenados à temperatura ambiente, a utilização de película de fécula de mandioca nas concentrações de 1 e 2% acarretaram menor perda de massa e taxa respiratória dos frutos em relação ao tratamento testemunha (OLIVEIRA e CEREDA, 1999). Em morangos, verificou-se diminuição da perda de massa no emprego do biofilme a 1, 2 e 3% e aumento de textura, estendendo em até 5 vezes a vida pós-colheita dos frutos (HENRIQUE e CEREDA, 1999). Da mesma forma, mangas ‘Surpresa’ tratadas com 3% de fécula de mandioca apresentaram redução da perda de água e melhor aspecto visual, bem como uma longevidade de 12 contra 7 dias da testemunha (SCANAVACA JÚNIOR *et al.*, 2007). Por outro lado, Oliveira e Cereda (2003) não observaram efeito de redução à perda de massa de pêssegos ‘Biuti’ revestidos com a fécula de mandioca acondicionados em temperaturas médias de $27,2 \pm 3$ °C e umidade relativa de $70 \pm 11\%$ durante 12 dias. Catamari *et al.* (2018) ao investigar o efeito do uso de coberturas comestíveis à base de fécula de mandioca e quitosana na pós-colheita vida de manga ‘Tommy Atkins’ concluiu que a formulação contendo 0,25% de quitosana e 0,5% de fécula de mandioca foi favorável, pois apresentaram vida útil pós-colheita de 3 dias a mais que os frutos do controle e diminuiu a taxa dos processos respiratórios da manga, sem comprometer o bom amadurecimento da fruta.

Independentemente do tipo de revestimento, o método de aplicação empregado tem importância crítica, devendo garantir que o produto seja adequadamente coberto e de modo bastante uniforme. Em frutos, a aplicação de revestimentos costuma ser realizada por meio da sua imersão rápida na solução filmogênica, sucedida pelo repouso do alimento até a evaporação da água e formação da película, ou por meio da aspersão sobre o tal produto (JUNIOR *et al.*, 2010).

3. Ozônio

Em função de sua epiderme porosa e sensível, no figo não são utilizados tratamentos para sua sanitização. Entretanto, a ausência desse processo aliado ao fato de que assim como os demais produtos hortícolas, o figo tende a ser um potencial veículo de microrganismos provenientes do campo ao longo do armazenamento e comercialização, o que acarreta perdas significativas de frutos. Por isso, a adoção de medidas de “Boas Práticas”, ou seja, procedimentos que garantam a qualidade higiênico-sanitária e a conformidade dos alimentos com a legislação sanitária são relevantes. A sanitização consiste na redução do

número de microrganismos viáveis para níveis aceitáveis enquanto a desinfecção visa a morte de todas as formas patogênicas, mas não necessariamente todas as esporuladas em objetos e superfícies inanimadas (ANVISA, 2004; 2013; 2016).

Os compostos clorados ainda são amplamente utilizados em vegetais para fins de sanitização e desinfecção, principalmente o hipoclorito de sódio, que além do baixo custo também possui um amplo espectro de atividade biocida contra bactérias, fungos e vírus (RIBEIRO *et al.*, 2008). Em geral, a sanitização com cloro é realizada por meio da imersão do produto em água clorada (até 200 ppm de cloro ativo) por 10 a 15 minutos (BRASIL, 2008). Embora esses produtos sejam eficazes e economicamente viáveis, podem levar à formação de compostos altamente cancerígenos na presença de certas matérias orgânicas, os trihalometanos, assim como irritabilidade à pele e olhos e, devido a isso, vêm-se buscando alternativas ao hipoclorito de sódio (HORVITZ e CANTALEJO, 2014).

3.1. Ozônio como um sanitizante alternativo

O ozônio é uma potente substância antimicrobiana considerado como interessante sanitizante, especialmente pelo seu potencial oxidante – é o segundo agente oxidante comum mais poderoso – e pelo fato de não deixar resíduos no ambiente. Considerado como GRAS (Generally Recognized As Safe) pela United States Food and Drug Administration (FDA), ou seja, seguro para uso como desinfetante ou sanitizante de alimentos quando usado de acordo com as boas práticas de fabricação, o ozônio é utilizado há anos para desinfetar a água, seja para consumo, piscinas ou residuais, bem com o existem diversas sugestões da sua utilização na indústria de alimentos, como higiene de superfícies e saneamento de equipamentos. Sua multifuncionalidade o torna um agente promissor e vantajoso na indústria alimentícia (GUZEL-SEYDIM *et al.*, 2004).

A geração geral de ozônio é dada pela divisão de uma molécula de oxigênio diatômica, fazendo com que o oxigênio de radical livre resultante fique disponível para reagir com outro oxigênio diatômico e formar a molécula de ozônio triatômica. Para haver essa quebra na ligação entre as duas moléculas de oxigênio (O–O), é necessário que essa seja exposta a uma grande quantidade de energia, que pode ser proveniente de radiação solar, gama, ultravioleta (comprimento de onda de 188 nm) ou descargas elétricas de alta tensão (RICE *et al.*, 1981; MUSTAFA, 1990). Na indústria, para usos comerciais, o ozônio é produzido pelo “processo fotoquímico de geração de ozônio”, por meio da exposição do gás oxigênio à uma fonte de

radiação UV; ou por meio da passagem do gás à uma descarga elétrica de frequência corona (<2.000Hz) ou plasma (>2.000Hz podendo chegar em 20.000Hz).

A produção de ozônio por eletricidade pode ser naturalmente observada na atmosfera por meio de descargas elétricas provenientes de relâmpagos. Já artificialmente, esse fenômeno é reproduzido mais comumente por meio de geradores de ozônio de efeito corona, o qual consiste na passagem do gás oxigênio por um campo elétrico entre dois eletrodos, um de baixa tensão, o negativo (aterrado) e outro de alta tensão, o positivo (com corrente de alta tensão, aproximadamente 1000V), com um dielétrico (isolante elétrico) entre eles, que pode ser de vidro ou cerâmica (RICE *et al.*, 1981; GUZEL-SEYDIM *et al.*, 2004).

Sem a geração contínua, o ozônio se decompõe rapidamente à temperatura ambiente e não se acumula, apresentando coloração quase incolor. Seu cheiro é prontamente detectável mesmo em concentrações de 0,01 a 0,04 ppm e a 1 ppm tem odor pungente e desagradável, descrito como semelhante ao “ar fresco após uma tempestade”, sendo irritante aos olhos e garganta (PELEG, 1976; MILLER *et al.*, 1978; COKE, 1993; SUSLOW, 1997; GUZEL-SEYDIM *et al.*, 2004).

Em estado gasoso a meia vida do ozônio é maior do que em solução aquosa, visto que em água sua instabilidade é alta, ao ponto que na água pura a decomposição de tal molécula em oxigênio ocorre rapidamente (menos da metade da atividade permanece após 20 minutos) e ainda mais rápido quando em soluções impuras, como água de processo com solo em suspensão e matéria orgânica (nesse caso, a meia vida da atividade de ozônio pode ser inferior a 1 minuto (RICE, 1986; SUSLOW, 1997). Outro fator que afeta negativamente seu desempenho e decomposição são temperaturas mais altas. É válido ressaltar que, embora, em baixas concentrações o ozônio não seja um gás extremamente tóxico, em altas concentrações (acima de 4 ppm) o ozônio pode ser letal para humanos em exposição prolongada (SUSLOW, 1997), sendo, portanto, a toxicidade o fator de maior impacto e importância para a aprovação do ozônio em plantas de processamento de alimentos e laticínios (GUZEL-SEYDIM *et al.*, 2004).

3.2. Ozônio como agente antimicrobiano

A ação antimicrobiana do ozônio dá-se pela oxidação progressiva dos componentes celulares vitais por meio da oxidação de compostos insaturados, aminoácidos e proteínas contendo o grupo sulfidril (SH), assim como de ácidos graxos poliinsaturados em peróxidos ácidos (VICTORIN, 1992). Tal potente capacidade de oxidação torna o ozônio muito eficaz na destruição de microrganismos.

Agostini *et al.* (2021) visando alternativas para tratamentos bucais, observaram eficácia no efeito bactericida tanto do gás ozonizado quanto da água ozonizada em diferentes concentrações (20, 40 e 60 µg/mL) e tempos de exposição (1 e 2 minutos) em *Staphylococcus aureus* e *Enterococcus faecalis*, em ensaio realizado *in vitro*. Nesse caso, as 40 e 60 µg/mL foram mais efetivas que 20 µg/mL para ambas as bactérias, já para *E. faecalis*, o gás ozonizado mostrou-se mais eficaz que a água ozonizada. No estudo da eficácia de tratamentos com ozônio gasoso e em água contra células aderidas e biofilmes microbianos de *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*, ambas as formas de aplicação do gás mostraram-se viáveis em reduzir o risco relacionado à presença de biofilmes microbianos (MARINO *et al.*, 2018). Neste último trabalho, considerando os resultados, os autores sugerem que o ozônio em água pode ser utilizado em protocolos diários de saneamento no final do dia ou durante o tempo de inatividade do processo, enquanto o ozônio gasoso pode ser usado para o tratamento de espaços confinados por períodos mais longos (por exemplo, durante a noite) e na ausência dos trabalhadores, permitindo um melhor controle de biofilmes microbianos.

A ação bactericida do ozônio sobre bactérias multirresistentes, tais como *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecalis* resistentes a vancomicina e *Pseudomonas aeruginosa*, foi comprovado em experimentos realizados por Tormin *et al.* (2016), no qual observou-se que esse efeito foi proporcional à concentração e ao tempo de exposição ao ozônio gasoso. Ademais, mesmo em pequenas concentrações e tempo de contato o ozônio é capaz de inativar vírus, fungos, protozoários e bactérias, tais como *Escherichia coli*, *Giardia lamblia* e, em certas circunstâncias, até oocistos de *Cryptosporidium* (WHITE, 2010).

3.3. Ozônio no tratamento pós-colheita de frutas e hortaliças

Não deixar resíduos ao ambiente, ser instável e decompor-se rapidamente em oxigênios são características positivas do poderoso agente oxidante ozônio para a indústria de alimentos. Conjuntamente ao fato de ser uma substância GRAS, seu uso vem sendo cada vez mais explorado e cogitado em substituição ao cloro, principalmente levando em consideração a não aceitação da sanitização com compostos clorados em alguns países.

Diversos são os estudos que mostram que o ozônio é eficiente na redução da contaminação microbiana. Desde que tomados os devidos cuidados com as concentrações adequadas, a ozonização pode reduzir a perda de massa, melhorar a manutenção da textura e aparência visual, prolongando a vida útil e mantendo a qualidade dos produtos frescos

(GLOWACZ *et al.*, 2014). No controle pós-colheita da podridão azeda de uva de mesa, uma doença causada por leveduras não-Saccharomyces oportunistas e bactérias do ácido acético, o armazenamento a frio dos frutos sob baixas doses de ozônio gasoso mostrou-se um método promissor para prevenir a decomposição microbiana pós-colheita e substituir os sistemas de liberação de dióxido de enxofre (PINTO *et al.*, 2017). Porém, a ação do ozônio não está apenas associada à baixas temperaturas. Em mamões expostos continuamente à fumigação com ozônio (0, 1,5, 2,5, 3,5 e 5,0 μLL^{-1}) por 96 horas, antes do armazenamento em ambiente (25 ± 3 °C e $70 \pm 5\%$ UR) por mais 14 dias, foi observado que o ozônio pode melhorar a capacidade do mecanismo de defesa antioxidante no mamão e resultar em melhor controle da podridão do fruto (ONG *et al.*, 2014).

Um curto período de exposição a uma baixa concentração já pode ser suficiente para se obter a melhor retenção de firmeza, qualidade microbiana (mesófilos, psicotróficos, bolores e leveduras) e reduzir o consumo de frutose e glicose. Em estudo com fatias de tomate imersas em água ozonizada (0,4 mgL^{-1}) durante 1, 3 e 5 minutos e armazenadas durante 14 dias a 5 °C, observaram que a água ozonizada não afetou a acidez total, pH, sólidos solúveis totais, ácidos orgânicos como ácido ascórbico, fumárico ou succínico e os parâmetros sensoriais, sendo recomendado lavar as fatias de tomate com 0,4 mgL^{-1} de água ozonizada por apenas 3 min, visto que prolongar a duração da ozonização por 5 minutos não melhorou a qualidade microbiológica (AGUAYO *et al.*, 2013).

Da mesma forma, um nível maior de exposição ao ozônio gasoso não provoca alterações significativas em parâmetros de qualidade como doçura, sabor, aparência e palatabilidade, conforme observado em estudo comparando-se figos secos ozonizados e não ozonizados. Akbasa e Ozdemir (2008) expuseram figos secos inoculado com *Escherichia coli*, e *Bacillus cereus* a 0,1, 0,5 e 1,0 ppm até 360 minutos de ozônio gasoso enquanto figos secos inoculados com esporos de *B. cereus* foram expostos às concentrações de ozônio gasoso de 1,0, 5,0, 7,0 e 9,0 ppm por 360 minutos. *E. coli* e *B. cereus* puderam ser reduzidos pela concentração de 1,0 ppm de ozônio, enquanto foi necessário a concentração de 9,0 ppm de ozônio para reduzir com segurança os esporos de *B. cereus* sem afetar as propriedades físico-químicas e organolépticas dos figos secos, conforme já mencionado.

Ainda em figos secos, a eficácia do ozônio gasoso e da água ozonizada na flora microbiana e no teor de aflatoxina B1 foi investigada por meio da exposição dos frutos a 13,8 mg L^{-1} de gás ozônio e 1,7 mg L^{-1} de água ozonizada por 7,5, 15 e 30 min. Em ambos os tratamentos, a degradação da aflatoxina B1 foi aumentada com o aumento do tempo de

ozonização e indicaram que o ozônio gasoso foi mais efetivo do que a água ozonizada na redução da aflatoxina B1, ao passo que a água ozonizada foi responsável pela diminuição da contagem microbiana. A sugestão proporcionada foi de que a água ozonizada pode ser utilizada no tratamento da planta de beneficiamento de figos e o ozônio gasoso ser usado nas salas de armazenamento para preservar figos secos do crescimento microbiano indesejável, formação de aflatoxinas e danos causados por pragas (ZORLUGENÇ *et al.*, 2008).

Tendo em vista as perdas economicamente importantes causadas pelo gênero *Alternaria* em uma ampla gama de vegetais (THOMMA, 2003; TZORTZAKIS *et al.*, 2008; TRONCOSO-ROJAS *et al.*, 2009; STOCCO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2021) e os relatos citados do promissor desempenho do ozônio como sanitizante em frutas e vegetais, é válido uma investigação do seu efeito no controle de *Alternaria alternata* em figo ‘Roxo de Valinhos’,

4. Referências bibliográficas

AGOSTINI, F.; FACCINI, M.; FITARELLI, F.; ORTIZ, M.A.L.; SALMERON, S.; OLIVEIRA, R.C.G.; VALARELLI, F.P.; OLIVEIRA, R.C.; FREITAS, K.M.S. In vitro comparison of antibacterial effect of ozonated water and ozonated gas. **Ozone: science & engineering**, v.43, n.4, p.394-400, 2021, [doi: 10.1080/01919512.2020.1811636](https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1811636).

AGUAYO, E.; ESCALONA, V; SILVEIRA, A.C.; ARTÉS, F. Quality of tomato slices disinfected with ozonated water. **Food science and technology international**, v.20, n.3, p.227-235, 2014, [doi: 10.1177/1082013213482](https://doi.org/10.1177/1082013213482).

AKBASA, M.Y.; OZDEMIR, M. Application of gaseous ozone to control populations of Escherichia coli, Bacillus cereus and Bacillus cereus spores in dried figs. **Food microbiology**, v.25, p.386-391, [doi: 10.1016/j.fm.2007.09.007](https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.09.007).

ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. **Métodos em fitopatologia**. Viçosa: UFV, 2007.

ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. Coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian journal of food technology**, v.17, n.2, p.87-97, 2014, [doi: 10.1590/bjft.2014.019](https://doi.org/10.1590/bjft.2014.019).

ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. Coberturas comestíveis sobre frutas e hortaliças: fundamentos e prática. In: FERREIRA, M.D. (Ed.). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, p.185-203, 2017.

ASSIS, O.B.G.; RIBEIRO, M.M.M.; ATARASSI, M.E.; LIMA, G.P.P.; FERREIRA, M.D. Aplicação de ceras em frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M.D. (Ed.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p.76-85, 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: AOAC, 1995.

BOUTOOM, T.; CHINAN, M. S.; JANTAWAT, P.; SNAGUADEEKUL, R. Effect of plasticizer type and concentration on the edible film from water soluble fish proteins in surimi wash water. **Food science and technology international**, v.12, n.2, p.119-162, 2006, [doi: 10.1177/1082013206063](https://doi.org/10.1177/1082013206063).

BOUZO, C.A., TRAVADELO, M.; GARIGLIO, N.F. Effect of different packaging materials on postharvest quality of fresh fig fruit. **International journal of agriculture & biology**, v.14, n.5, p.821-825, 2012.

BRASIL. CGPAN/SAS/Ministério da Saúde. Guia alimentar para a população brasileira: **Promovendo a alimentação saudável**, 2005.

CEREDA, M.P., BERTOLINI, A.C., EVANGELISTA, R.M. Uso de amido em substituição às ceras na elaboração de “películas na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças. Estabelecimento de curvas de secagem. *In*: Congresso Brasileiro de mandioca. **Anais... 7**, Recife: 1992, p.107.

CEREDA, M.P.; BERTOLINI, A.C.; SILVA, A.P.; OLIVEIRA, M.A.; EVANGELISTA, R.M. Películas de almidón para la preservación de frutas. *In*: Polímeros biodegradables. Avances y perspectivas. **Anais ...** Buenos Aires, 1995.

CHESSA, I. Fig, in Mitra, S. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits**, Wallingford, UK, CAB International, p.245-268, 1997.

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

COKE, A L. Mother nature's best remedy: Ozone. *Water Conditioning and Purification*, p.48-51, 1993.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO (CQH/CEAGESP). Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura: Normas de classificação de figos. Centro de qualidade em horticultura. São Paulo, 2003, 3p.

CONDIT, I.J. “**Fig Varieties: A Monograph**”. *In*: Hilgardia, A., *Journal of Agricultural Science published by the California Agricultural Experiment Station.*, v.23, n.11, p.322-538, 1955

CONDIT I.J. **The fig**. Chronica Botanica Co., Waltham, 1947.

DOWNES, F. P.; ITO, K. **Compendium of Methods for The Microbiological Examination of Foods**. 4ed., American Public Health Association, Washington USA, 676p., 2001.

DURIGAN, J.F. **Pós-colheita do figo**. *In*: CORRÊA, L.S.; BOLIANI, A.C. (Ed.). *Cultura da Figueira – do plantio à comercialização*. *In*: Simpósio Brasileiro sobre a Cultura da Figueira. **Anais... 1**, Ilha Solteira: Funep, 1999, p.1-16.

FAO – Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 10 jul 2017.

FORATO, L.A.; ASSIS, O.B.G, FILHO, R.B. Revestimentos comestíveis protetores em frutas e hortaliças. *In*: FERREIRA, M.D. (Ed.). **Tecnologias pós-colheita em Frutas e Hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011, p.208-217.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of food science**, v.57, n.1, p.190-199, 1992, [doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x).

GÖZLEKÇI, S., ERKAN, M.; KARAŞAHIN, I.; ŞAHİN., G. Effect of 1- MethylCycloPropene (1-MCP) on fig (*Ficus carica* cv. Bardakci) storage. **Acta Horticulturae**, v.798, p.325-330, 2008, [doi: 10.17660/ActaHortic.2008.798.47](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.798.47).

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

HENRIQUE, C.M.; CEREDA, M.P. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria Ananassa Duch*) cv. IAC Campinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 9, n.2, p. 231-233, 1999, [doi: 10.1590/S0101-20611999000200014](https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000200014).

HIMELRICK, D.G. Fig Production Guide. Alabama A & M Auburn Universities, Alabama Cooperative Extension System, ANR-1145, 1999, v.1, 7p.

Horvitz, S.; Cantalejo, M.J. Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.54, p.312–339, 2014, [doi: 10.1080/10408398.2011.584353](https://doi.org/10.1080/10408398.2011.584353).

IBGE - Produção Agrícola - Lavoura Permanente, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11948?tipo=grafico&indicador=11951>>.

International Organization for Standardization (ISO 6579:2007). **Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the detection of Salmonella spp.**, 4^{ed}. 2002.

JUNIOR, E.B.; MONARIM, M.M.S.; CAMARGO, M.; MAHL, C.E.A.; SIMÕES, M.R.; SILVA, C.F. Efeito de diferentes biopolímeros no revestimento de mamão (*Carica papaya* L.) minimamente processado. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v.1, n.1, p.131-142, 2010.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: março, 2018.

FLAISHMAN, M. A., RODOV, V., STOVER, E. **The Fig: Botany, Horticulture, and Breeding**. *In*: Horticultural Reviews, (Ed.: JANICK, J.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, v.34, 113-197, 2008.

KISLEV, M.E.; HARTMANN, A.; BAR-YOSEF, O. Early Domesticated Fig in the Jordan Valley. **Science**, v.312, p.1372-1374, 2006, [doi: 10.1126/science.1125910](https://doi.org/10.1126/science.1125910).

MANGANARIS, G.A.; VASILAKAKIS, M.; DIAMANTIDIS, G.; MIGNANI, I. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. **Food Chemistry**, v.100, p.1385-1392, 2007, [doi: 10.1016/j.foodchem.2005.11.036](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.036).

MARINO, M., MAIFRENI, M., BAGGIO, A.; INNOCENTE, N. Inactivation of foodborne bacteria biofilms by aqueous and gaseous ozone, frontiers in microbiology. **Frontiers in microbiology**, v.9, n.28, 12p., 2018, [doi: 10.3389/fmicb.2018.02024](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02024).

VIUDA-MARTOS, M; BARBER, X.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; Assessment of chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of fig (*Ficus carica* L.) powder co-products, **Industrial Crops and Products**, v.69, p. 472-479, 2015, [doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.005](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.005).

MCHUGHT, T.H.; KROCHTA, J.M. Sorbitol- vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol.42, n.4, p.841-845, 1994, [doi: 10.1021/jf00040a001](https://doi.org/10.1021/jf00040a001).

MILLER, G.W., RICE, R.G., ROBSON, C.M., SCULLIN, R.L, KUHN, W., & WOLF, H. (1978). An assessment of ozone and chlorine dioxide technologies for treatment of municipal water supplies. US Environmental Protection Agency Report No.EPA-600/ 2-78-147. Washington, DC: US Government printing Office.

MUSTAFA, M.G. Biochemical basis of ozone toxicity. **Free Radical Biology and Medicine**, 9, 245–265, 1990, [doi: 10.1016/0891-5849\(90\)90035-h](https://doi.org/10.1016/0891-5849(90)90035-h).

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, [doi: 10.1016/j.scienta.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.004).

OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Efeito da película de mandioca na conservação de goiabas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.2, n.1-2, p.97-102, 1999.

OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Pós-colheita de pêsegos (*Prunus pérsica* L. Bastsch) revestidos com filmes a base de amido como alternativa à cera comercial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.28-33, 2003, [doi: 10.1590/S0101-20612003000400006](https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000400006).

PAOLUCCI, M; DI STASIO, M.; SORRENTINO, A.; LA CARA, F.; VOLPE, M.G. Active Edible Polysaccharide-Based Coating for Preservation of Fresh Figs (*Ficus carica* L.). **Foods**, v.9, 12p., [doi: 10.3390/foods9121793](https://doi.org/10.3390/foods9121793).

PELEG, M. Review paper: The chemistry of ozone in the treatment of water. **Water Research**, v.10, p.361-365, 1976.

PENTEADO, S.R. O cultivo da figueira no Brasil e no mundo. In: CORRÊA, L.S.; BOLIANI, A.C. (ed.) *Cultura da Figueira – do plantio à comercialização*. In: Simpósio Brasileiro sobre a Cultura da Figueira. **Anais...** 1, Ilha Solteira: Funep, 1999, p.213-225.

PIGA, A., A. DEL CARO, G. MILELLA, I. PINNA, V. VACCA, AND S. SCHIRRU. 2008. HPLC analysis of polyphenols in peel and pulp of fresh figs. **Acta Horticulturae**, v.798, p.301-306, [doi: 10.17660/ActaHortic.2008.798.43](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.798.43).

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

RIBEIRO, J.M.; CANUTO, K.M.; VESCHI, J.L.A. Compostos clorados: aspectos gerais e sua utilização como agente sanitizante na agricultura, micropropagação e pecuária. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008, 26p.

RICE, R.G. Application of ozone in water and waste water treatment. *In*: RICE, R.G.; BROWNING, M.J. (Eds.), *Analytical aspects of ozone treatment of water and waste water* (pp. 7–26). Syracuse, NY: The Institute, 1986.

RICE, R.G., ROBSON, C.M., MILLER, G.W.; HILL, A.G. Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 73(1), 44–57, 1981, [doi: 10.1002/j.1551-8833.1981.tb04637.x](https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1981.tb04637.x).

SCANAVACA JUNIOR, L.; FONSECA, N.; PEREIRA, M.E.C. Uso de fécula de mandioca na pós-colheita de manga 'Surpresa'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1 p.67-71, 2007, [doi: 10.1590/S0100-29452007000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000100015).

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, F.S.; GOMES, R.A. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. Livraria Varela, 4ªed., 624p., 2010.

SOBRAL, P.J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.35, n.6, p.1251-1259, 2000, [doi: 10.1590/S0100-204X2000000600022](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600022).

SOLOMON, A., GOLUBOWICZ, S.; YABLOWICZ, Z.; GROSSMAN, S.; BERGMA, M.; GOTTLIEB, H.E.; ALTMAN, A.; KEREM, Z.; FLAISHMAN, M.A. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.7717-7723, 2006, [doi: 10.1021/jf060497h](https://doi.org/10.1021/jf060497h).

SOUZA, F.C. **Efeito da Atmosfera Modificada e da Variação de Temperatura durante Armazenagem na Qualidade do Figo ‘Roxo de Valinhos’**. 100p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Pós-Colheita) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SOUZA, F.C. **Utilização combinada de radiação UV-C e atmosfera modificada para conservação do figo após a colheita**. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

SOUZA, F.C.; FERRAZ, Antônio Carlos de Oliveira. Resposta respiratória durante o armazenamento do figo Roxo de Valinhos (*Ficus carica* L.) submetido à vibração. **Anais... Workshop de Pós-Graduação**, 4, Campinas: FEAGRI/UNICAMP, jun. 2004, CD-Rom.

STOCCO, A.F.; DIAZ, M.E.; ROMERA, M.C.R.; MERCADO, L.A.; RIVERO, M.L.; PONSONE, M.L. Biocontrol of postharvest *Alternaria* decay in table grapes from Mendoza province. **Biological control**, v. 134, p. 114-122, 2019, [doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.03.019](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.03.019).

STOVER, E., ARADHYA, M., FERGUSON, L.; CRISOSTO, C.H. The Fig: Overview of an Ancient Fruit. **Horticultural Science**, v.42, p.1083-1087, 2007, [doi: 10.21273/HORTSCI.42.5.1083](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1083).

SUSLOW, T. Postharvest Chlorination Basic Properties and Key Points for Effective Disinfection. University Of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 8p., 1997, <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/26414.pdf>.

THOMMA, B.P.H.J., 2003, *Alternaria alternata*: from general saprophyte to specific parasite. **Molecular plant pathology**, v.4, n.4, p.225-236, [doi: 10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X](https://doi.org/10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X).

TORMIN, S.C.; NAVARINI, A.; ALMEIDA, J.O.C.F. de; TRAVASSOS, L.H.R.; NEGRI, M.V.G. & SILVA, R.A. Análise do efeito bactericida do ozônio sobre bactérias multirresistentes/ **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, p.138-141, 2016, <https://arquivosmedicos.fcmsantacasasp.edu.br/index.php/AMSCSP/article/view/107/103>.

TRONCOSO-ROJAS, R., CORRAL-ACOSTA, Y.; SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; GARCÍA-ESTRADA, R.; AGUILAR-VALENZUELA, A.; OJEDA-CONTRERAS, J.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M.E. Postharvest treatment of isothiocyanates to control *Alternaria* rot in netted melon. **Phytoparasitica**, v.37, p.445-45, 2009, [doi: 10.1007/s12600-009-0062-3](https://doi.org/10.1007/s12600-009-0062-3).

TZORTZAKIS, N.G., SINGLETON, I.; BARNES, J.D. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.47, p.1-9, 2008, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.004](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.004).

VICTORIN, K. Review of the genotoxicity of ozone. **Mutation Research**, 277, 221-238, 1992, [doi: 10.1016/0165-1110\(92\)90045-b](https://doi.org/10.1016/0165-1110(92)90045-b).

VOLPATO, L.G. O método lógico para redação científica. **Revista eletrônica de comunicação, informação & inovação em saúde**, v.9, n.1, 2015, 14p., [doi: 10.29397/reciis.v9i1.932](https://doi.org/10.29397/reciis.v9i1.932).

WANG, F.; SAITO, S.; MICHAILIDES, T.J.; XIAO, C-L. Postharvest use of natamycin to control *Alternaria* rot on blueberry fruit caused by *Alternaria alternata* and *A. arborescens*. **Postharvest Biology and Technology**, v.172, 6p., 2021, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111383](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111383).

WHITE, G.C. **Handbook of chlorination and alternative disinfectants**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 5ed., 2010, 1062p.

Villalobos, M.C., Serradilla, M.J., Martín, A., Corrales. M. L., Pereira, C., Córdoba, M. G. Preservation of different fig cultivars (*Ficus carica* L.) under modified atmosphere packaging during cold storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.96, n.6, p.2103-2115, 2015.

VINSON, J.A. **The functional food properties of figs**. *Cereal Foods World*, v.4, p.82-87, 1999.

ZORLUGENÇ, B.; ZORLUGENÇ, F.K.; ÖZTEKİN, S.; EVLIYA, I.B. The influence of gaseous ozone and ozonated water on microbial flora and degradation of aflatoxin B1 in dried figs. **Food and chemical toxicology**, v.46, n.12, p.3593-3597, 2008, [doi: 10.1016/j.fct.2008.09.003](https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.003).

**CAPÍTULO 2. FÉCULA DE MANDIOCA NO
REVESTIMENTO DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’**

Fécula de Mandioca no Revestimento de Figo ‘Roxo de Valinhos’

Resumo: A alta perecibilidade e extenso percurso ao qual é submetido ao longo de sua cadeia de comercialização e exportação, na maioria vezes, implica na deterioração da qualidade e perdas expressivas do figo ‘Roxo de Valinhos’ (*Ficus carica* L.). Considerando que o revestimento comestível é uma técnica que possibilita a redução da perda de massa fresca e diminuição da incidência de podridões, testou-se a hipótese de que a aplicação de cobertura comestível à base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio com a adição do sorbitol como agente plastificante prolonga a vida pós-colheita do figo ‘Roxo de Valinhos’. Os figos foram revestidos com 2% fécula de mandioca (FM), 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio + 20% de sorbitol (FM + CaCl₂ + S), obtida por meio da gelatinização do amido, via imersão e pulverização. O estudo foi conduzido em esquema fatorial 3 x 2 (3 doses e 2 vias de aplicação) e os tratamentos avaliados aos 0, 3, 6 e 9 dias após a aplicação do tratamento em relação à perda de massa e incidência de podridão. O revestimento com cobertura formulada apenas com fécula de mandioca e aplicado via pulverização proporcionou menor perda de massa fresca, igual a 18,03% e influenciou significativamente no controle da podridão ao longo dos dias de avaliação. Conclui-se que a aplicação do revestimento com cobertura formulada com fécula de mandioca a 2% apresenta potencial para a conservação do figo ‘Roxo de Valinhos’, pois proporcionou menor perda de massa fresca e incidência de podridão nas frutas.

Key words: *Ficus carica* L., edible coating, postharvest, shelf life.

1. Introdução

O figo ‘Roxo de Valinhos’, caracteristicamente, tem a presença de ostíolo aberto (orifício terminal que liga a cavidade do receptáculo ao exterior), fato que aumenta a sua susceptibilidade à contaminação por fungos e insetos. Aliado a um padrão de respiração climatérico, o fruto tem vida útil curta (em torno de 5 a 7 dias quando armazenado à temperatura ambiente) e é sensível a manejos pós-colheita. Ainda assim, durante o processo de exportação, o produto sofre com condições inadequadas de armazenamento, tais como oscilações de temperatura, o que prejudica sua conservação e tempo de vida útil (STOVER *et al.*, 2007).

A busca por métodos e tecnologias de conservação alternativos ao uso de fungicidas, bem como coadjuvantes à cadeia de frio, tem feito com que tratamentos pós-colheita

com a aplicação de coberturas comestíveis sejam considerados para controlar a podridão pós-colheita e prolongar a vida útil de frutos. Por meio do preenchimento de estômatos e lenticelas pela película de revestimento formada, a transferência de umidade (transpiração) e as trocas gasosas (respiração) são reduzidas, promovendo decréscimo de perda de massa e taxa respiratória (OLIVEIRA e CEREDA, 1999); concomitantemente, ocorre a formação de uma barreira de proteção que incrementa a integridade mecânica e melhora a aparência do produto. Outra vantagem da técnica é que tal a camada aderida pode ser ingerida, visto que deve ser oriunda de bases biopoliméricas de origem animal, vegetal ou de suas combinações, consideradas como materiais GRAS (Generally Recognized as Safe), ou seja, serem atóxicos e seguros para o uso em alimentos (ASSIS e BRITTO, 2014).

A escolha do composto a ser utilizado na formulação do revestimento varia de acordo com a fisiologia do fruto de interesse e as capacidades dos polímeros a serem empregados. O amido apresenta vantagens na capacidade de formar filmes incolores, alta barreira ao oxigênio, boa formação de película, além de ser de baixo custo, pronta disponibilidade e ausência de toxicidade quando ingerido em quantidades elevadas (SAPPER e CHIRALT, 2018). Entretanto, suas películas são altamente sensíveis à água e possuem propriedades limitadas de barreira ao vapor de água e resistência mecânica, sendo por vezes necessário a incorporação de substâncias, tais como plastificantes, para aprimorar as características mecânicas dos filmes/revestimentos à base de amido (ASSIS *et al.*, 2008; SAPPER e CHIRALT, 2018). Apesar de utilizados para melhorar as características dos filmes biodegradáveis, a escolha do plastificante tem de ser compatível com o biopolímero matriz, pois sua presença tem como efeito o aumento da hidrofiliabilidade e permeabilidade ao vapor de água, o que compromete a barreira à umidade das coberturas comestíveis. O sorbitol é muito utilizado em associação com o amido, promovendo aumento da mobilidade molecular e flexibilidade dos filmes (SHIMAZU *et al.*, 2007).

Em função do baixo custo e acessibilidade, a fécula de mandioca vem sendo estudada como matéria prima para a elaboração de coberturas e filmes comestíveis a base de amido (CATAMARI *et al.*, 2018; PÉREZ-VERGARA *et al.*, 2020). Em frutos de mamão Formosa 'Tainung 1' revestidos com cobertura comestível à base de mandioca a 1% e 3%, foi observado um significativo retardo do amadurecimento que resultou no prolongamento de quatro dias da sua vida útil (PEREIRA *et al.*, 2006). Mangas 'Surpresa' tratadas com 3% de fécula de mandioca apresentaram redução da perda de água e melhor aspecto visual, bem como uma longevidade de 12 contra 7 dias da testemunha (SCANAVACA JUNIOR *et al.*, 2007).

Tendo em vista a necessidade de busca por métodos que proporcionem a manutenção da qualidade e durabilidade pós-colheita do fruto em questão, este trabalho teve como objetivo testar a hipótese de que a aplicação de cobertura comestível à base de fécula de mandioca e cloreto de cálcio prolonga a vida pós-colheita do figo 'Roxo de Valinhos', uma vez que diminui as contaminações microbiológicas e perda de massa, bem como avaliar a necessidade da adição do sorbitol como agente plastificante.

2. Material e métodos

Preliminarmente, diferentes combinações de fécula de mandioca, cloreto de cálcio e sorbitol foram testadas de forma a possibilitar o revestimento dos frutos via imersão e pulverização. Definidas as concentrações de cada componente dos tratamentos, a obtenção do revestimento baseou-se no princípio da gelatinização do amido. Em solução aquosa, polvilho doce comercial (Kodilar®) foi solubilizado em água destilada a 70 °C em banho térmico sob constante agitação (CEREDA *et al.*, 2000). Após o amido ser gelatinizado, o cloreto de cálcio e/ou sorbitol foi adicionado à massa da gelatina sob agitação magnética até a sua completa homogeneização. As concentrações de fécula de mandioca e cloreto de cálcio foram determinadas com relação ao volume da solução enquanto a de sorbitol deu-se com base na massa seca do amido.

No dia da instalação do experimento, os figos 'Roxo de Valinhos' foram adquiridos diretamente de um produtor da região de Campinas (22°59'33.6"S, 47°05'04.9"O) e selecionados quanto a uniformidade de tamanho, grau de maturação (50 a 75% da superfície com coloração roxa) e ausência de sinais de doenças, insetos e danos mecânicos. Depois de selecionados, os frutos foram submetidos ao revestimento com cobertura comestível formulada com 2% fécula de mandioca (FM), 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e 2% fécula de mandioca + 3% cloreto de cálcio + 20% de sorbitol (FM + CaCl₂ + S) via imersão e pulverização. Para aplicação via imersão, os frutos foram imersos realizando-se completo revestimento (por, aproximadamente, 30 segundos) em recipiente contendo a solução de cobertura correspondente ao tratamento e, posteriormente, acomodados em grade para secagem ao ar. Os frutos tratados por pulverização receberam o revestimento por um pulverizador de compressão prévia Western® com jato uniforme enquanto pendurados pelo pedúnculo com o auxílio de um barbante em uma estrutura de sustentação e assim ficaram até completa secagem da cobertura ao ar. A exposição dos frutos ao ar para completa secagem se

deu até quando foi possível perceber a mudança de brilho do revestimento (do brilhante ao fosco) e ausência de umidade perceptível ao toque. Depois de secos (4 e 6 horas para os frutos de imersão e aspensão, respectivamente), os frutos juntamente com o tratamento controle (frutos não revestidos) foram armazenados ao mesmo tempo em câmara de refrigeração à temperatura de $19,81 \pm 1,46$ °C e umidade relativa de $76,24 \pm 18,30\%$. O estudo foi conduzido em esquema fatorial 3×2 (3 doses e 2 vias de aplicação) com três repetições compostas por 6 frutos cada e avaliados aos 0, 3, 6 e 9 dias após a aplicação do tratamento em relação à perda de massa e incidência de podridão. Para determinação da perda de massa, os seis frutos que compunham cada repetição tiveram sua massa determinada em balança eletrônica digital Gehaka, modelo BG 2000, precisão de 0,01g, sendo o resultado expresso em porcentagem de massa fresca perdida entre o momento da avaliação e a massa fresca inicial. Em relação a presença de podridão, calculou-se a porcentagem da incidência em relação aos frutos pertencentes em cada repetição, dividindo a quantidade de frutos com podridão pelo número total de frutos da repetição, multiplicando-se o resultado por 100 para que fosse expresso em porcentagem. Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste t de Student (LSD), com o auxílio do software Sisvar®.

3. Resultados e discussão

Apesar da perda de massa fresca ser um processo fisiológico natural da pós-colheita, a redução nesse atributo também é uma das principais causas de rejeição em frutos frescos. Os resultados da perda de massa durante o período de armazenagem dos figos avaliados neste estudo são apresentados na Figura 1, sendo o item (a) referente a interação entre as formulações utilizadas (FM, FM + CaCl₂, FM + CaCl₂ + S) independente da via de aplicação, a qual foi significativa ($p < 0,05$). O item (b) exibe uma ausência de interação significativa entre os meios de aplicação da cobertura ($p > 0,05$). O revestimento formulado apenas com fécula de mandioca promoveu menor perda de massa ($18,89 \pm 1,03$ %) nos frutos de figo e foi o único estatisticamente diferente do controle ($21,81 \pm 1,04\%$), independentemente da forma de revestimento (pulverização ou aspensão) (Figura 1 (a)). Em morangos armazenados em condição ambiente, biofilme de fécula de mandioca promoveu além da diminuição da perda de massa, aumento da textura, prolongou em até 5 vezes a vida pós-colheita dos frutos e não resultou em perda da qualidade visual dos frutos (HENRIQUE e CEREDA, 1999).

São diversos os métodos comerciais de aplicação de revestimento comestível e sua escolha está atrelada com a reologia da solução, tecnologia de secagem utilizada e, principalmente, com o resultado desejado (ANDRADE *et al.*, 2012). Neste estudo, a aplicação por pulverização e imersão foram indiferentes tanto para a conservação da perda de massa quanto para o controle da incidência de doenças, ou seja, não houve diferença estatística (Figura 2 (b)). Quando depositada via pulverização, a cobertura não revestiu por completo os frutos, isso porque sua viscosidade não permitiu que o jato pulverizado fosse fino o suficiente para escorrimento na superfície do produto e, caso fosse reaplicada, criavam-se camadas. Embora as aplicações de spray sejam recomendadas para aplicar uma camada tanto espessa ou fina mais uniforme de revestimento sobre a superfície de um alimento, em alguns casos são necessárias deposições duplas ou mais sucessivas, como por exemplo para fazer uma camada de gel com soluções de alginato e cloreto de cálcio (CUTTER, 2006; DANGARAN *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2012). Outra ressalva é que, para o figo, nesse método de aplicação, a região do ostíolo não era coberta, sendo possível visualizar a diferença entre a região com e sem cobertura, enquanto os frutos revestidos por imersão ficaram mais uniformemente recobertos. Esses frutos também levaram maior tempo para secar do que os recobertos via imersão, possivelmente devido à sobreposição de camadas no momento da aplicação da cobertura.

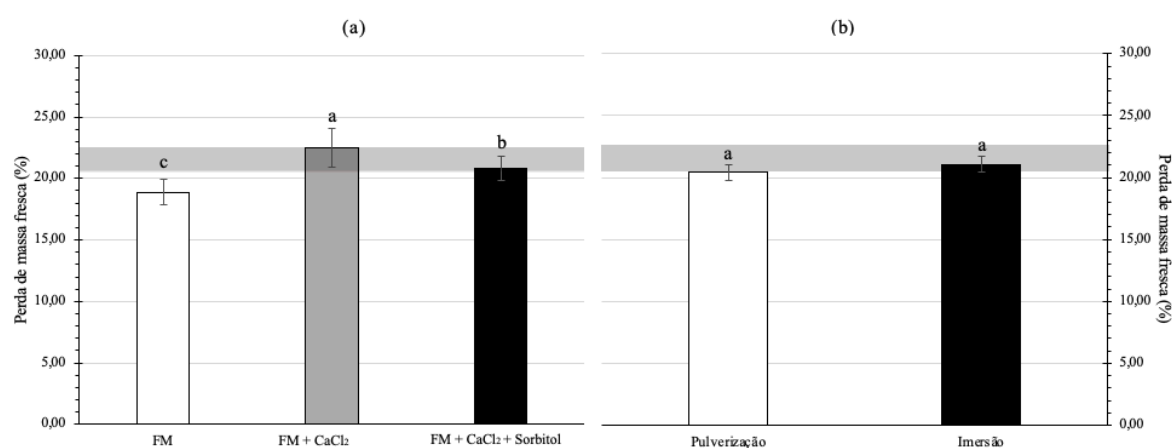


Figura 1. Perda de massa de figos ‘Roxo de Valinhos’ revestidos com fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca e cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca, cloreto de cálcio e sorbitol (FM + CaCl₂ + sorbitol) via pulverização (a) e imersão (b), armazenados por 9 dias a $19,81 \pm 1,46$ °C e umidade relativa de $76,24 \pm 18,30\%$. A faixa horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão.

A aparência, portanto, é um atributo de extrema influência na opção de compra e consumo. No caso dos figos, embora tenha havido menor perda de massa nos frutos revestidos via pulverização com fécula de mandioca (18,03%) em relação ao controle (21,81%), a

aparência final dos frutos não refletiu o efeito dos tratamentos, pois visualmente, apesar do brilho devido ao recobrimento, os frutos recobertos tanto via pulverização quanto imersão aparentavam aspecto de murchamento. Por conta da epiderme delicada, supõe-se que a umidade devido ao contato com a solução filmogênica provocou danos a qualidade visual dos frutos. Esses resultados são contrários aos observados por Reyes-Avalos *et al.* (2016) em figos frescos revestidos por uma bicamada comestível de alginato-quitosana e armazenados à 6 °C, no qual houve redução significativa da perda de massa dos frutos e retardo da contaminação visual por fungos por 12 dias de armazenamento. Tal contradição também pode ser devida à diferença da temperatura de armazenagem empregada, que neste estudo visou simular condições usuais de comercialização, além do fato da composição das coberturas serem distintas, visto que a quitosana é um polissacarídeo proveniente de fonte animal. Morangos revestidos com fécula de mandioca (2%) em associação com quitosana (1%), tiveram redução na perda de massa e contagem de microrganismos (psicrófilos, leveduras e mofos), assim como melhora na aparência dos frutos ao final de nove dias de armazenamento a 10 °C, sendo resultados superiores aos tratamentos apenas a base de fécula de mandioca a 2% e quitosana 2% (CAMPOS *et al.*, 2011). O efeito de prolongamento do período de armazenamento, com conservação das características de qualidade aceitáveis também pode ser atribuído à fécula de mandioca, como observado por Maciel *et al.* (2004). Em estudo comparando o efeito de revestimento a base de 1, 2, 3 e 4% de fécula de mandioca na conservação de acerola, os autores observaram que os frutos revestidos com o biofilme de 1 e 2% puderam ser armazenados por um período de até 15 dias a 10°C. Visando o aumento da eficácia da barreira de O₂, a associação da quitosana à fécula de mandioca em formulação de revestimento é eficiente, tal qual foi comprovado por Catamari *et al.* (2018) ao investigar o efeito do uso de coberturas comestíveis à base de fécula de mandioca e quitosana na prateleira pós-colheita vida de manga ‘Tommy Atkins’. Os resultados deste estudo indicaram que a formulação contendo 0,25% de quitosana e 0,5% de fécula de mandioca foi o mais favorável, pois apresentaram vida útil pós-colheita de 3 dias a mais que os frutos do controle e diminuiu a taxa dos processos respiratórios da manga, sem comprometer o bom amadurecimento da fruta.

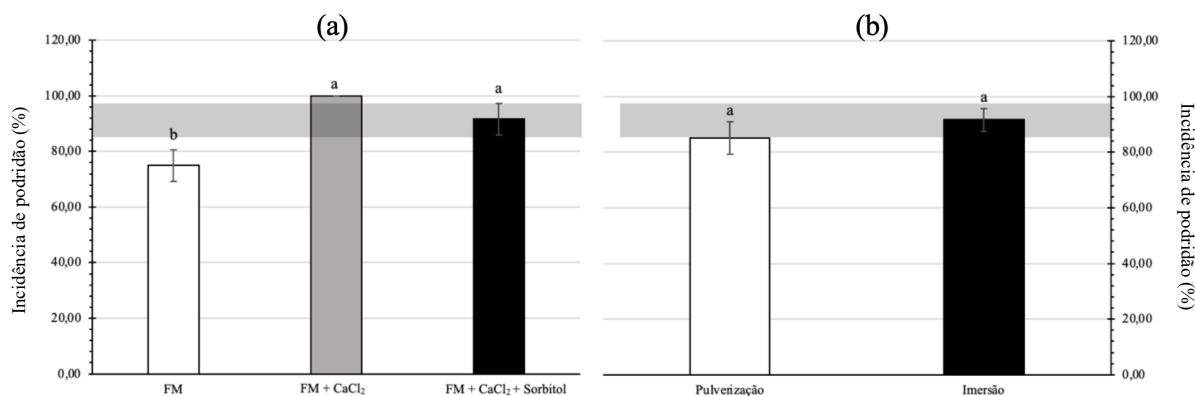


Figura 2. Incidência de podridão em figos ‘Roxo de Valinhos’ revestidos com fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca e cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca, cloreto de cálcio e sorbitol (FM + CaCl₂ + sorbitol) via pulverização (a) e imersão (b), armazenados por 9 dias a $19,81 \pm 1,46$ °C e umidade relativa de $76,24 \pm 18,30\%$. A faixa horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão.

A incidência de doenças é fator determinante para a duração de um produto ao longo de sua vida pós-colheita, bem como um parâmetro de qualidade importante para o consumidor. Em correspondência com o que se observou na perda de massa fresca, os figos revestidos com a cobertura contendo apenas a fécula de mandioca, sem a adição de demais componentes, apresentaram menor incidência de podridão ao longo da armazenagem em comparação com os demais tratamentos (Figura 2). Estudando filmes comestíveis à base de fécula de mandioca nativa, cera de abelha e própolis, Pérez-Vergara *et al.* (2020) observaram notável atividade antifúngica contra *Aspergillus niger* de filmes à base de fécula de mandioca nativos incorporados com cera de abelha e extrato etanólico de própolis. Os resultados encontrados neste estudo levaram os autores a concluir que tais filmes têm potencial para serem utilizados em aplicações de embalagens de alimentos e revestimentos para produtos *in natura* e minimamente processados. Reyes-Avalos *et al.* (2016) relataram que a aplicação do filme comestível de bicamada alginato-quitosana retardou a contaminação visual dos frutos possibilitando observar a infecção fúngica em figos revestidos e armazenados à 6 °C só após 15 dias de armazenamento, ao contrário do constatado neste estudo em que se observou contaminação a partir do terceiro dia de avaliação. Da mesma forma, avaliando a conservação de amora-preta, cv. Tupy, armazenada sob refrigeração e revestida com diferentes coberturas comestíveis, Oliveira *et al.* (2012) observaram que o resfriamento a 0 °C combinado com quitosana a 1,5% apresenta menor incidência de podridão em comparação com os frutos revestidos com fécula de mandioca a 2,5% armazenados à mesma temperatura, a qual é bem

menor da utilizada no presente estudo. O caráter antimicrobiano da quitosana associado à refrigeração tende a ser mais eficaz no controle da incidência de doenças em comparação com o revestimento de fécula de mandioca aplicada tanto de forma isolada quanto em combinação com cloreto de cálcio e sorbitol à temperatura de 20 °C, como visto neste trabalho. Porém, como visto em trabalhos apresentados anteriormente, a associação de fécula de mandioca com um agente microbiano tende a ser eficaz no controle de podridão e conservação pós-colheita de frutos.

Conclui-se que a aplicação do revestimento com cobertura formulada com fécula de mandioca a 2% apresenta potencial para a conservação do figo 'Roxo de Valinhos', pois proporcionou menor perda de massa fresca e incidência de podridão nas frutas.

4. Referências bibliográficas

ASSIS, O.B.G.; BRITTO, D. Coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian journal of food technology**, v.17, n.2, p.87-97, 2014, [doi: 10.1590/bjft.2014.019](https://doi.org/10.1590/bjft.2014.019).

ASSIS, O.B.G., RIBEIRO, M.M.M., ATARASSI, M.E., LIMA, G.P.P.; FERREIRA, M.D. Aplicação de ceras em frutas e hortaliças. *In*: FERREIRA, M.D. (Ed.). Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p.76-85, 2008.

CATAMARI, F.O.S.; SANTANA, L.C.L.A., CARNELOSSI, M.A.G; ALEXANDRE, A.P.S; NUNES, M.L.; GOULART, M.O.F; NARAIN, N.; SILVA, M.A.A.P. Food science and technology, v.38, p. 86-95, 2018, [doi: 10.1590/1678-457X.16417](https://doi.org/10.1590/1678-457X.16417).

CEREDA, M.P.; BERTOLLINI, A.C.; EVANGELISTA, R.M. Uso do amido em substituição de ceras na elaboração de "filmes" na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças: estabelecimento de curvas de secagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 7., Recife, 1992. **Anais**. Recife, 1992. 102p.

CEREDA, M.P., HENRIQUE, C.M., OLIVEIRA, M.A., FERRAZ, M.V.; VICENTINI, N.M. (2000). Characterization of edible films of cassava starch by electron microscopy. **Brazilian Journal of Food Technology**, 3, 91-95.

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

HENRIQUE, C.M.; CEREDA, M.P. (1999). Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria Ananassa Duch*) cv. IAC Campinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 9, 2, 231-233, [doi: 10.1590/S0101-20611999000200014](https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000200014).

OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Efeito da película de mandioca na conservação de goiabas. **Brazilian journal of food technology**, v.2, n.1-2, p.97-102, 1999.

OLIVEIRA, M.O.; KWIATKOWSKI, A.; ROSA, C.I.L.F.R.; CLEMENTE, E. Refrigeration and edible coatings in blackberry (*Rubus* spp.) conservation. **Journal Food Science Technology**, v.51, n.9, p.2120-2126, 2012, [doi: 10.1007/s13197-012-0702-3.pdf](https://doi.org/10.1007/s13197-012-0702-3.pdf).

PEREIRA, M.E.C., SILVA, A.S. da, BISPO, A.S.R., SANTOS, D.B., SANTOS, S.B., SANTOS, V.J. Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.6, p.1116-1119, 2006, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600011>.

SCANAVACA JUNIOR, L., FONSECA, N.; PEREIRA, M.E.C. (2007). Uso de fécula de mandioca na pós-colheita de manga 'Surpresa'. Revista Brasileira de Fruticultura, v.29, n.1, 67-71, <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000100015>.

SAPPER, M.; CHIRALT, A. Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. Coatings, v.8, n.5, p.152, 2018, <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>.

SHIMAZU, A.A., MALI, S. and GROSSMANN, M.V.E. (2007). Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. Semina: Ciências Agrárias, 28, 1, 79-88, <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p79>.

STOVER, E.; ARADHYA, M.; FERGUSON, L.; CRISOSTO, C.H. The Fig: Overview of an Ancient Fruit. Horticultural Science, v.42, n.5, p.1083-1087, 2007, [doi: 10.21273/hortsci.42.5.1083](https://doi.org/10.21273/hortsci.42.5.1083).

**CAPÍTULO 3. NÉVOA OZONIZADA E OZÔNIO GASOSO NO
CONTROLE DE *ALTERNARIA ALTERNATA* NA
PÓS-COLHEITA DE FIGO ‘ROXO DE VALINHOS’**

Névoa ozonizada e ozônio gasoso no controle de *Alternaria alternata* na pós-colheita de figo 'Roxo de Valinhos'

Resumo: O objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que o ozônio atua positivamente no controle de podridão causada por *A. alternata* em figo 'Roxo de Valinhos', por meio de sua aplicação nas formas gasosa e névoa ozonizada. O crescimento micelial e porcentagem de inibição foram avaliados *in vitro* para verificar se a névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) aplicados por 5 e 30 minutos, respectivamente, atuavam no desenvolvimento do fungo durante 7 dias de incubação em estufa BOD (25,4 ± 2,2 °C). Nos ensaios *in vivo*, figos 'Roxo de Valinhos' foram inoculados com *A. alternata* (1,1 x 10⁵ esporos ml⁻¹) 4 horas antes dos tratamentos com névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) aplicados por 5 e 30 minutos, respectivamente. Posteriormente, a incidência e severidade do fungo foram avaliadas nos frutos armazenados a 25,4 ± 2,2 °C e 72,5 ± 1,2%UR por 4 dias. Embora a névoa ozonizada tenha vantagens em termos de aplicação, os resultados mostraram que, para as doses exploradas neste estudo, o gás ozonizado na dose de 20 uL L⁻¹ mostrou-se significativamente mais eficiente no controle de podridão de *Alternaria* tanto nos testes *in vitro* quanto *in vivo*. Assim, o ozônio gasoso pode ser uma alternativa no controle de podridão de *Alternaria* em frutos de figo 'Roxo de Valinhos', contribuindo para a diminuição de suas perdas pós-colheita.

Palavras-chave: *Ficus carica* L., fungo, patógeno, sanitização.

1. Introdução

No gênero *Alternaria* estão inclusas espécies que podem ser encontradas no solo ou em tecidos vegetais em decomposição, sendo comumente considerado um fungo saprófita. Algumas de suas espécies possuem capacidades fitopatogênicas, que causam decomposição e perdas economicamente importantes em uma ampla gama de vegetais (THOMMA, 2003). Tais doenças afetam as culturas agrícolas não só no campo, mas também na pós-colheita, uma vez que o crescimento de tal fungo ocorre mesmo em baixas temperaturas, possibilitando a deterioração das *commodities* ao longo do transporte refrigerado e armazenamento (OSTRY, 2008). A maioria das espécies de *Alternaria* tem a capacidade de produzir uma variedade de metabólitos secundários tóxicos, que podem desempenhar papéis importantes na qualidade e segurança alimentar dos produtos agrícolas. Dentre os principais compostos estão grupos de

micotoxinas alternariol (AOH), éter monometílico de alternariol (AME), altenueno (ALT), tentoxina (TEN) e ácido tenuazônico (TeA), os quais estão relacionados ao desenvolvimento de problemas de saúde em humanos (EFSA, 2011; OSTRY, 2008; THOMMA, 2003).

São inúmeros os relatos de doenças causadas pela *Alternaria spp.* em diversas culturas, tais como tomate (TZORTZAKIS *et al.*, 2008), melão (TRONCOSO-ROJAS *et al.*, 2009), uva de mesa (STOCCO *et al.*, 2019), mirtilo (WANG *et al.*, 2021), bem como a busca por alternativas mais eficazes, seguras e ecológicas, já que, de maneira geral, dentre os vários métodos testados para o controle de tal doença fúngica, o mais comum é o uso de fungicidas sintéticos. Entretanto, o uso repetido de fungicidas pode levar ao desenvolvimento de resistência ao fitopatógeno, tornando sua gestão mais complexa (AVENOT e MICHAILIDES, 2015).

Os figos são frutos de epiderme sensível, altamente perecíveis, com curta vida útil pós-colheita e suscetíveis a contaminações microbiológicas, principalmente devido à presença de ostíolo em sua morfologia (MAREI e CRANE, 1971; CRISOSTO *et al.*, 2011). Tais fatores podem limitar a comercialização e processo de exportação do produto. O figo ‘Roxo de Valinhos’ é a variedade principal produzida no Brasil, entretanto os estudos acerca do uso de técnicas de sanitização de seus frutos ainda são escassos.

Dentre os meios alternativos de controle de microrganismos, o ozônio tem despertado cada vez mais interesse como agente conservante de alimentos devido ao seu amplo e eficaz espectro biocida, assim como à ausência de resíduos nocivos, sendo reconhecido como um agente seguro (GRAS - Generally Recognized as Safe). Estudos mostram que baixas doses de ozônio gasoso podem limitar a propagação de mofo cinzento em uva, contribuindo para o prolongamento da vida útil durante o período refrigerado pós-colheita (FELIZIANI *et al.*, 2014). O enriquecimento atmosférico com ozônio também pode diminuir a produção e germinação de esporos, principalmente em concentrações mais altas e maior duração de exposição, reduzindo a deterioração por *Alternaria alternata* e *Colletotrichum coccodes* em frutos de tomate (TZORTZAKIS *et al.*, 2008).

Tendo em vista o poderoso agente oxidante que é o ozônio e seu potencial papel no controle microbiológico de patógenos, bem como diante da novidade que é a técnica de aplicação da névoa ozonizada, o objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que o ozônio atua positivamente no controle de podridão causada por *Alternaria alternata* em figo ‘Roxo de Valinhos’, por meio da aplicação de ozônio gasoso e névoa ozonizada.

2. Material e Métodos

2.1. Ensaio *in vitro*

2.1.1. Isolamento do patógeno

O fungo *Alternaria alternata* foi isolado de figo ‘Roxo de Valinhos’, com sintomas típicos de podridão e naturalmente infectados (SISGEN nº ABE1905). Para estimular o desenvolvimento do microrganismo, os frutos foram envoltos individualmente por uma câmara úmida com o auxílio de saco plástico de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) com água borrifada no interior, incubados a 25 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR por 7 dias em câmara BOD. Ao início do sintoma, procedeu-se ao isolamento direto do fungo transferindo um fragmento do tecido infectado para placas de Petri com ágar batata dextrose (BDA) e incubação a 25 °C. Conforme o crescimento do isolado, foram realizadas repicagens periódicas até a obtenção de colônias puras (ALFENAS e MAFIA, 2007). Para confirmação da identificação do patógeno, suas características morfológicas foram observadas com o auxílio de microscópio ótico, bem como realizou-se o Postulado de Koch.

Para avaliação dos tratamentos, um disco de micélio de aproximadamente 5 mm de diâmetro de *A. alternata* foi posicionado ao centro de cada placa de Petri de poliestireno contendo BDA e expostas ao ozônio via névoa e gás.

2.1.2. Geração e aplicação de ozônio

O gás ozônio foi gerado *in situ* por um gerador industrial portátil (modelo M10i, MyOzone®, Brasil) que utiliza a tecnologia corona para geração de ozônio, alimentado via cilindro de oxigênio tipo T (10,0 m³ e 200 kgf/cm²), grau 2,8, pureza 99,8%. Para a geração da névoa, o gerador de névoa ozonizada (modelo N10, MyOzone®) foi alimentado pelo gás gerado e o jato de névoa liberado foi direcionado para o interior da caixa acrílica na qual as placas de Petri e os frutos, em momentos distintos, foram arranjados em prateleiras (15 cm de altura). Nos tratamentos com gás, a concentração de ozônio foi monitorada durante toda a aplicação por um sensor de ozônio (Modelo Eco Sensor UV-106M de 0-1000 uL L⁻¹) acoplado à caixa acrílica de dimensões de 80x60x55 cm (comprimento x largura x altura) (Figura 1).

As concentrações de ozônio utilizadas neste estudo foram de 10, 20 e 40 uL L⁻¹ com gás (por 30 minutos) e névoa ozonizada (por 5 minutos), as quais foram comparados com o controle e com um tratamento de exposição à névoa sem ozonização (0 uL L⁻¹). Tais concentrações foram definidas com base em testes preliminares.

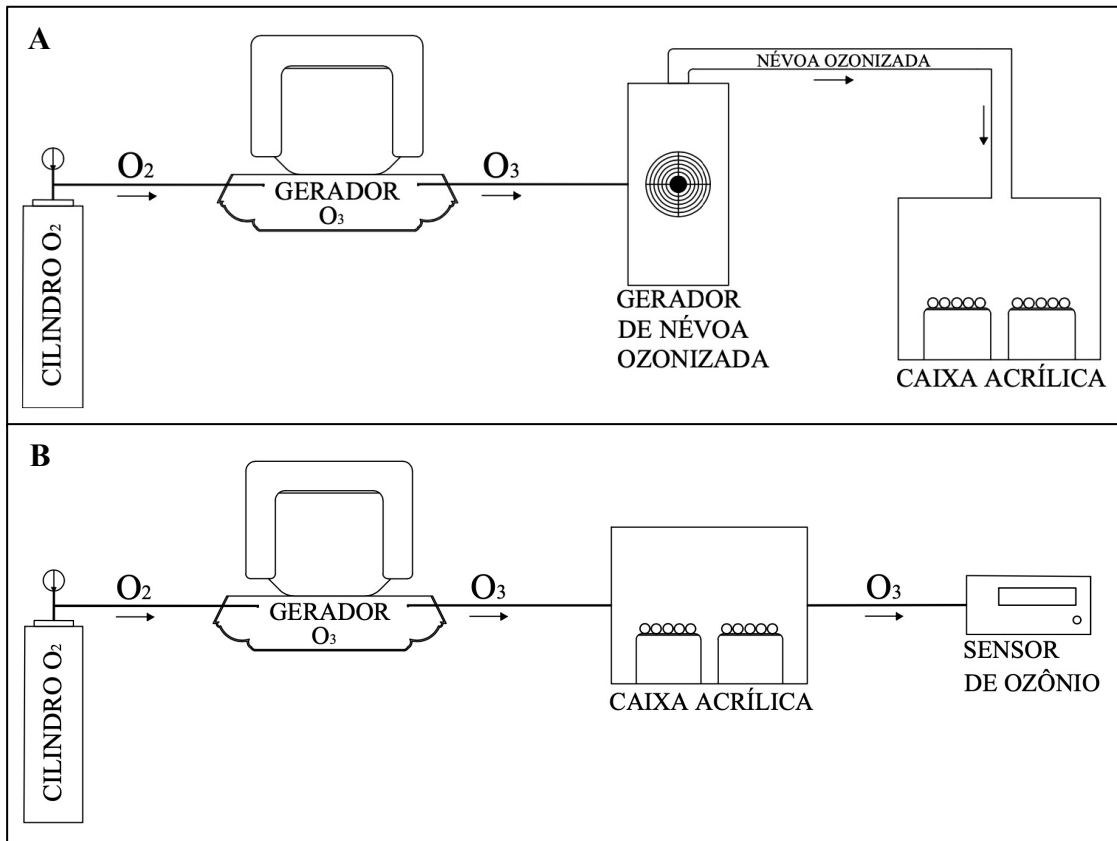


Figura 1. Diagrama descritivo do sistema de aplicação de névoa ozonizada (A) e ozônio gasoso (B).

2.1.3. Índice de crescimento e percentagem de inibição micelial

Após a aplicação dos tratamentos com ozônio, as placas foram fechadas, vedadas com Parafilm® e incubadas a $25,4 \pm 2,2$ °C e $72,5 \pm 1,2\%$ UR. O crescimento micelial foi avaliado medindo-se diariamente o diâmetro da colônia (mm) com o auxílio de um paquímetro digital ABS Mitutoyo ($\pm 0,02$ mm) em duas direções perpendiculares ao longo de 7 dias, data na qual o diâmetro da colônia de um dos tratamentos atingiu a borda da placa.

O índice de crescimento micelial para o período observado foi calculado com base na média das medidas diárias do diâmetro da colônia, conforme a Equação 1 (PERES, 2003).

$$\text{ICM} = \frac{C_1}{N_1} + \frac{C_2}{N_2} + \dots + \frac{C_n}{N_n} \quad (\text{equação 1})$$

Em que: C_1 é o crescimento micelial (mm) no primeiro dia (N_1), C_n o crescimento micelial (mm) no último dia (N_n).

A porcentagem de inibição do crescimento micelial de cada tratamento em relação ao controle foi calculada com a média dos diâmetros das colônias do dia 7, como ilustrado na Equação 2 (ALBUQUERQUE *et al.*, 2006):

$$\text{Porcentagem de inibição micelial} = \left[\frac{(CFc - CFt)}{CFc} \right] \times 100 \quad (\text{equação 2})$$

Sendo, CFc o crescimento micelial do fungo no controle e CFt o crescimento micelial do fungo no tratamento.

2.1.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema fatorial 4 x 2 (4 doses e 2 vias de aplicação de ozônio) com cinco repetições compostas por duas placas como unidade experimental por tratamento e o ensaio foi realizado em duplicata. As médias dos tratamentos avaliados foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo Teste de t de Student (LSD) de probabilidade no software estatístico Sisvar®.

2.2. Ensaio *in vivo*

Figos ‘Roxo de Valinhos’ (*Ficus carica* L.) foram obtidos de um produtor da região de Campinas, São Paulo/SP, Brasil (22°59'33.6"S, 47°05'04.9"O). Os frutos foram selecionados uniformemente quanto à ausência de sinais de doenças, insetos e danos mecânicos, bem como quanto ao grau de maturação (50 a 75% da superfície com coloração roxa).

Os frutos foram inoculados por meio da injeção de 10 µL de suspensão de *A. alternata* (1,1 x 10⁵ esporos/ml) com seringa cromatográfica (Hamilton®) na região equatorial, quatro horas antes de serem expostos à névoa e ao gás ozônio. A área inoculada foi previamente identificada com uma caneta marcadora para confirmar que os sintomas eram devidos à inoculação e não à infecção natural. A suspensão de esporos foi preparada adicionando água destilada na placa com o inóculo, com posterior filtragem em gaze estéril, realizando-se então a contagem dos esporos com o auxílio de uma câmara de Neubauer em microscópio óptico com aumento de 20x.

2.2.1. Geração e aplicação de ozônio

A geração e aplicação do ozônio foi realizada conforme demonstrado no item 2.1.2. Assim como no ensaio *in vitro*, as concentrações de ozônio utilizadas neste estudo foram definidas com base em testes preliminares e fixadas em 10, 20 e 40 uL L⁻¹ com gás (por 30

minutos) e névoa ozonizada (por 5 minutos), as quais foram comparados com o controle e com um tratamento de exposição à névoa sem ozonização (0 uL L⁻¹).

2.2.2. Área sob a curva de progresso da doença (AACPD)

Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram armazenados em câmara de refrigeração a 22,22 °C ± 1,48 e 68,18 °C ± 13,80% UR, monitorados diariamente quanto à incidência da doença e medição do diâmetro da podridão (mm) ao longo de quatro dias, data na qual os frutos já não se encontravam mais visualmente aptos ao consumo (ponto de qualidade comercial). A incidência foi determinada com a porcentagem de frutos infectados, enquanto a severidade foi calculada com a medida de dois diâmetros em direções opostas. As medidas de incidência e severidade da podridão foram usadas para calcular a área sob a curva de progresso da doença (AACPD), conforme proposto por Shaner e Finney (1977):

$$AACPD = \sum \left(\frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) \times (t_{i+1} - t_1) \quad (\text{equação 3})$$

Onde Y_i é a severidade ou incidência da doença no tempo t_i em dias e Y_{i+1} é a severidade ou incidência da doença no tempo T_{i+1} , também em dias.

2.2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema fatorial 4 x 2 (4 doses e 2 vias de aplicação de ozônio) com cinco repetições compostas por dois frutos como unidade experimental por tratamento, em duplicata. As médias da área sob a curva de progresso da doença (AACPD) da incidência e severidade foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo Teste de t de Student (LSD) de probabilidade no software estatístico Sisvar®.

3. Resultados

3.1. Ensaio *in vitro*

Os resultados do efeito *in vitro* da névoa ozonizada e gás ozônio no índice de crescimento micelial assim como na porcentagem de inibição, são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O progresso da doença (AACPD) para incidência em função do efeito das concentrações de névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) são

ilustrados nos itens a e b, respectivamente, da Figura 2. A Figura 3, representa o efeito da névoa ozonizada e gás ozônio sob a AACPD para incidência (a) e severidade (b) de podridão por *Alternaria* em figo ‘Roxo de Valinhos’. Por fim, a Figura 4 demonstra o efeito das concentrações de névoa ozonizada e gás ozônio sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para severidade de podridão por *Alternaria* também em experimento *in vivo*.

No índice de crescimento micelial (ICM) houve interação significativa ($p < 0,05$) entre a forma de aplicação de ozônio e a concentração utilizada, iguais a 0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹ para a névoa e 10, 20 e 40 uL L⁻¹ para o gás, ou seja, observou-se diferença entre a dose de ozônio avaliada e entre os meios de aplicação empregados, conforme é possível observar na Tabela . Comparando-se a média e desvio padrão do controle (61,01 ± 0,50) com os demais tratamentos, pode-se observar que todos os tratamentos inibiram o crescimento micelial *in vitro* de *A. alternata*, inclusive a aplicação de névoa na ausência de ozônio. Na exposição ao ozônio por meio da névoa, houve a necessidade de uma maior concentração para a obtenção de um menor ICM, isso porque a dose de 40 uL L⁻¹ inibiu o crescimento de *A. alternata*, o que resultou em um ICM de 56,20, o qual foi o menor entre essa forma de aplicação ($p < 0,05$), diferentemente do ozônio gasoso, cuja concentração ótima mostrou-se aos 20 uL L⁻¹ com um ICM de 57,01. Portanto, é possível ressaltar que a aplicação de ozônio gasoso foi mais eficiente no controle do crescimento *in vitro* de *A. alternata*.

Tabela 1. Efeito *in vitro* da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) no índice de crescimento micelial (ICM) de *Alternaria alternata* ao longo de 7 dias de incubação a 25,4 ± 2,2 °C e 72,5 ± 1,2% UR.

Tratamento	Índice de crescimento micelial (ICM)			
	Névoa		Gás	
0 uL L ⁻¹	57,97 ± 0,40	a	-	-
10 uL L ⁻¹	57,73 ± 0,41	aA	58,00 ± 0,64	bA
20 uL L ⁻¹	58,05 ± 0,73	aA	57,01 ± 0,43	bA
40 uL L ⁻¹	56,20 ± 0,24	bB	59,74 ± 0,20	aA
Controle	61,01 ± 0,50			

* Nota: valores seguidos por letras minúsculas distintas na coluna e maiúscula na linha são significativamente diferentes entre os tratamentos ($p < 0,05$) de acordo com o Teste de t de Student (LSD). O controle deve ser comparado aos tratamentos por meio do valor de sua média ± seu erro padrão. Valores correspondem à média seguidos pelos erros padrão de cinco repetições compostas por duas placas/colônias.

A porcentagem de inibição do crescimento de *A. alternata* em relação ao controle apresentou interação significativa ($p < 0,05$) entre a forma de aplicação de ozônio e a

concentração utilizada, iguais a 0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹ para a névoa e 10, 20 e 40 uL L⁻¹ para o gás. Não houve efeito da aplicação apenas da névoa (0 uL L⁻¹) sobre o crescimento do patógeno em relação aos demais tratamentos, da mesma forma que nenhuma das concentrações se destacou nessa forma de aplicação. Já no caso do gás ozonizado, foi possível observar uma menor porcentagem de inibição na concentração de 40 uL L⁻¹ (-1,93), com diferença estatística para a inibição provocada pela concentração de 20 uL L⁻¹, a qual ficou em torno de 5,08 (Tabela).

Tabela 2. Efeito *in vitro* da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹) na porcentagem de inibição de *Alternaria alternata* ao longo de 7 dias incubadas a 25,4 ± 2,2 °C e 72,5 ± 1,2% UR.

Tratamento	Porcentagem de inibição	
	Névoa	Gás
0 uL L ⁻¹	3,45 ± 0,40 a	-
10 uL L ⁻¹	2,38 ± 1,98 aA	-0,23 ± 1,58 bA
20 uL L ⁻¹	2,12 ± 2,41 aA	5,08 ± 1,94 aA
40 uL L ⁻¹	5,91 ± 0,70 aA	-1,93 ± 1,02 bB

* Nota: valores seguidos por letra minúscula distintas na coluna e maiúscula na linha são significativamente diferentes entre os tratamentos ($p < 0,05$) de acordo com o Teste de t de Student (LSD). Valores correspondem à média seguidos pelos erros padrão de cinco repetições compostas por duas placas/colônias.

3.2. Ensaio *in vivo*

Não houve interação significativa entre as formas de aplicação de ozônio e as concentrações aplicadas, névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 uL L⁻¹) e gás ozônio (10, 20 e 40 uL L⁻¹), na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para a incidência de podridão por *Alternaria* em figos inoculados. Da mesma forma, não ocorreu diferença significativa ($p > 0,05$) entre as concentrações de ozônio dentro de cada modo de aplicação (Figura). Porém, a Figura 2b mostra que, comparado ao controle, as concentrações de 20 e 40 uL L⁻¹ de gás ozônio inibiram a incidência de podridão de *Alternaria* em 40 e 21%, respectivamente, com diferença significativa. Já no caso da névoa ozonizada, nenhuma das doses apresentaram influência significativa em relação ao controle.

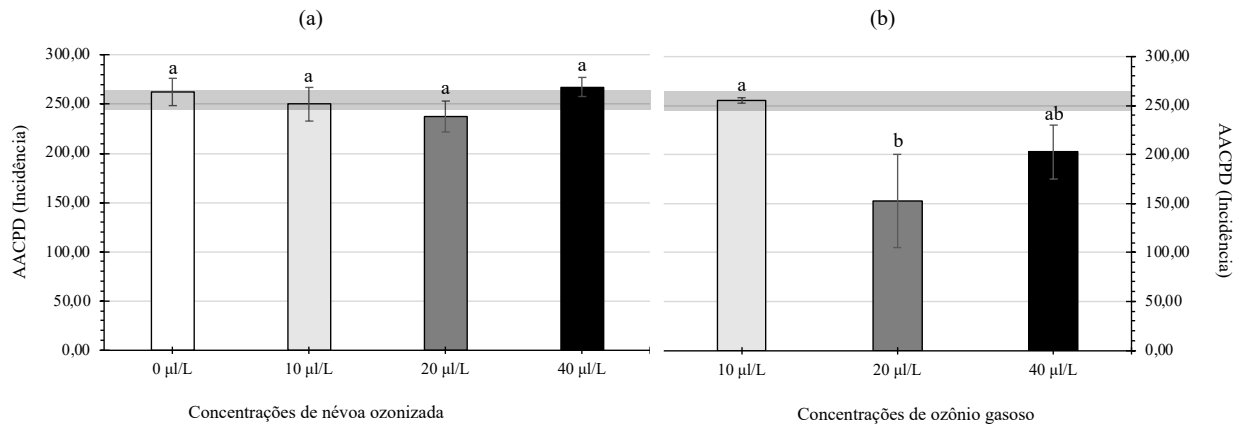


Figura 2. Efeito das concentrações de névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) (a) e gás ozônio (10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) (b) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para incidência de podridão por *Alternaria* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado com *Alternaria alternata* 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80\%$ UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão.

O comportamento entre as formas de aplicação é apresentado na Figura a. Os frutos tratados com ozônio por meio da névoa ozonizada apresentaram maior AACPD para incidência (254,38) em comparação com aqueles tratados com gás ozônio (203,33), sendo essa diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). A aplicação de ozônio por meio de gás também foi significativamente menor que o controle (255,00), ao contrário do que ocorreu com o tratamento de névoa ozonizada.

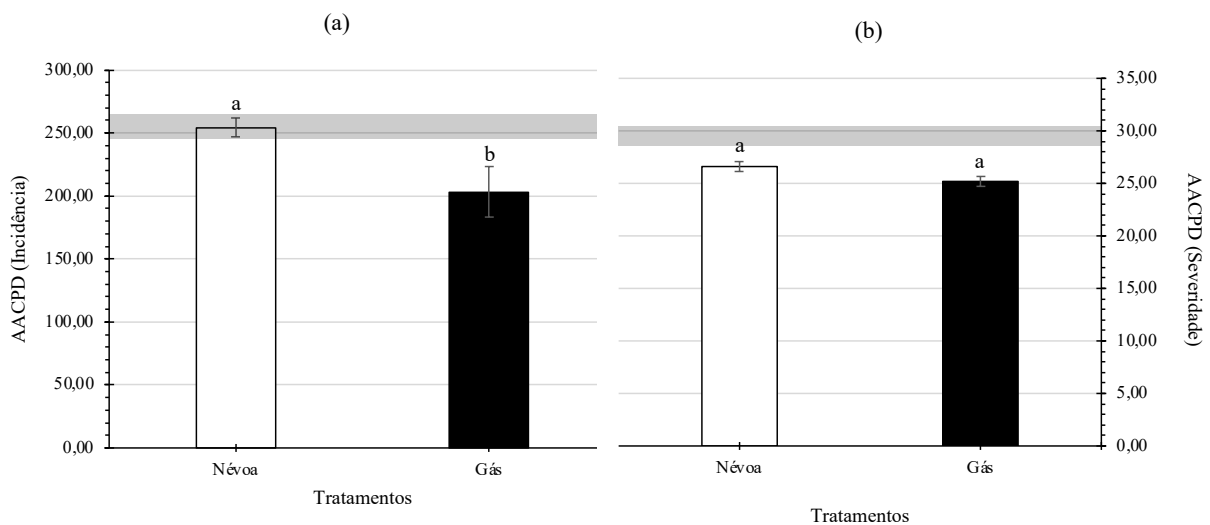


Figura 3. Efeito da névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) e gás ozônio (10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para incidência (a) e severidade (b) de podridão por *Alternaria* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado com *Alternaria alternata* 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80\%$ UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm o erro padrão.

Embora não tenha havido diferença significativa entre as formas de aplicação (névoa e gás) avaliadas ($p > 0,05$) de AACPD para severidade, ambos foram menores estatisticamente em relação ao controle, iguais a 8 e 13% para névoa e gás, respectivamente (Figura b). É válido ressaltar que os frutos tratados com gás ozonizado apresentaram menor média para a severidade (25,20) em comparação com névoa (26,59). Além disso, as concentrações de ozônio aplicadas tanto por meio de névoa quanto gás não controlaram significativamente a severidade de podridão de alternaria ($p > 0,05$), porém em ambos os meios de aplicação todas as concentrações resultaram em AACPD significativamente menores que o controle (Figura).

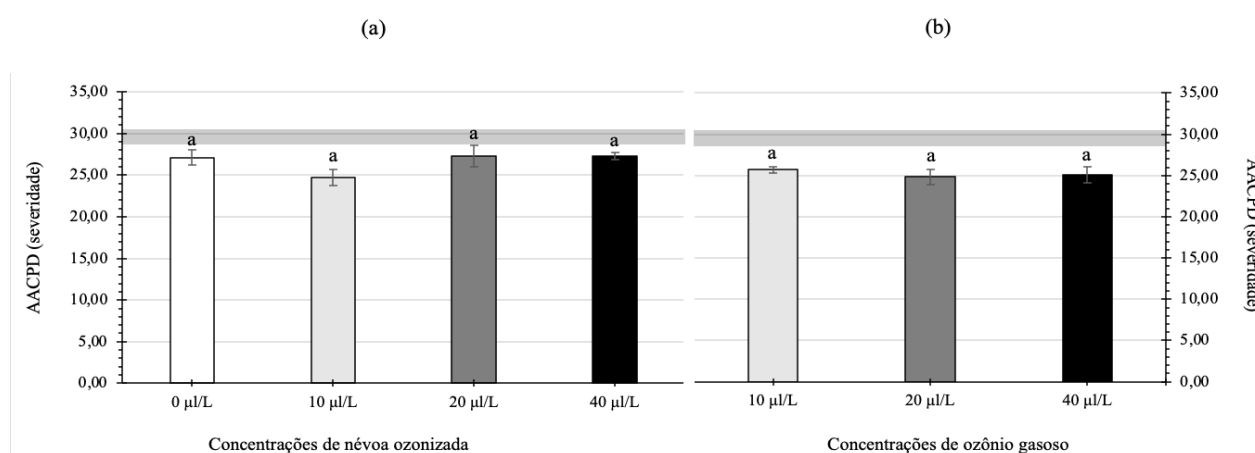


Figura 4. Efeito das concentrações de névoa ozonizada (0, 10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) e gás ozônio (10, 20 e 40 $\mu\text{L L}^{-1}$) sob a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para severidade de podridão por *Alternaria* em figo ‘Roxo de Valinhos’, inoculado 4 horas antes do tratamento e armazenado a $22,22 \pm 1,48$ °C e $68,18 \pm 13,80$ % UR por 4 dias. As barras representam o erro padrão. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes de acordo com Teste de t de Student (LSD) em $p < 0,05$. A faixa cinza horizontal corresponde à média do controle \pm erro padrão.

4. Discussão

O ozônio pode ser considerado um agente em potencial no controle de *A. alternata*, com base em sua atividade fungistática e fungicida. Os tratamentos com névoa ozonizada e ozônio gasoso reduziram significativamente o desenvolvimento *in vitro* de *Alternaria alternata*, porém não o inibiu completamente. Esses resultados validam vários estudos que mostram que o tratamento com ozônio pode controlar o desenvolvimento de fungos. Como por exemplo, em termos de supressão da germinação de esporos e crescimento de micélios, o ozônio mostrou ser altamente inibitório em estudos *in vitro* com *Alternaria alternata* e *Colletotrichum coccodes*, sendo seus efeitos altamente dependentes da concentração e duração da exposição ao ozônio (TZORTZAKIS *et al.*, 2008). Tal eficácia do ozônio na inibição do

crescimento de micélios e na germinação de esporos também pode ser vista em outra gama de patógenos, como em *C. gloeosporioides*, em que o desenvolvimento desse patógeno foi claramente afetado pelas concentrações e períodos de exposição ao ozônio (ONG *et al.*, 2013).

O índice de crescimento micelial (ICM), foi significativamente menor entre as concentrações de névoa ozonizada quando a *Alternaria alternata* foi exposta a 40 uL L⁻¹ (Tabela), com 5,91% de inibição em relação ao controle. Quando aplicado na forma de gás, o ozônio inibiu com maior eficiência (5,08%) o crescimento do fungo na concentração de 20 uL L⁻¹ e resultou no menor ICM dentre às colônias expostas ao gás ozônio, isso porque quando expostas a 40 uL L⁻¹ de ozônio gasoso, as colônias de *Alternaria alternata* não tiveram inibição do seu crescimento (-1,89%) em relação ao controle, bem como apresentaram o maior índice de crescimento micelial dentre os tratamentos. Nos experimentos *in vivo*, os tratamentos com gás ozônio reduziram significativamente o desenvolvimento de *Alternaria alternata* em figo ‘Roxo de Valinhos’; no entanto, a podridão por alternaria não foi completamente inibida (Figura e Figura). Semelhantemente ao observado no crescimento *in vitro* de *Alternaria*, a menor AACPD para incidência e severidade da doença causada por este fungo deu-se nos frutos tratados com 20uL L⁻¹ de gás ozônio, enquanto os figos tratados com a concentração de 40 uL L⁻¹ do gás apresentaram maior incidência de podridão de Alternaria.

A possibilidade de existência de um ponto ótimo de ação do ozônio em relação a degradação de *Alternaria alternata* revela uma semelhança ao observado por Cia *et al.* (2009) utilizando radiação ultravioleta (UV-C) para controle *Colletotrichum gloeosporioides* em bagas de uva ‘Niagara Rosada’ inoculadas. Neste trabalho, os autores observaram por meio de uma regressão quadrática que as doses de 4,18 e 8,35 kJ/m² proporcionaram melhor nível de controle de *C. gloeosporioides*, enquanto doses acima não eram eficientes no controle do fungo. Da mesma forma, doses acima de 1,04 e 10,44 kJ/m² de radiação UV-C aparentemente estimularam o crescimento micelial de *Monilinia fructicola*, em estudo sobre a ação da irradiação UV-C no controle da podridão parda na pós-colheita de pêssegos (BASSETO *et al.*, 2007). Esses efeitos sugerem a presença de *hormese*, que é definida como o estímulo de uma resposta benéfica a doses baixas ou subletais de um agente que é prejudicial em altos níveis (STEVENS *et al.*, 1998; SHAMA e ALDERSON, 2005).

Como já abordado anteriormente, o uso de ozônio na desinfecção de produtos frescos é uma técnica especialmente considerável principalmente porque não deixa resíduos no produto tratado. Além disso, o ozônio é conhecido por provocar a síntese e acúmulo de antioxidantes e fitoalexinas em vegetais, embora uma dose mais elevada possa induzir a

biossíntese de etileno e causar dano tecidual devido ao estresse oxidativo que ele impõe (FORNEY, 2003). Dessa forma, a seleção das doses a serem empregada é de extrema importância, pois o O₃ pode reagir com praticamente todos os componentes das células causando estresse oxidativo e danos (ROSHCHINA e ROSHCHINA, 2003). Nossos resultados corroboram com Ong *et al.* (2013), no qual frutos ozonizados com 4 ppm do gás tiveram aumento da podridão dos frutos em comparação com as doses de 0,04 e 1,6 ppm também empregadas, indicando que tal dose mais alta de ozônio (4 ppm) reduziu a resistência da doença à antracnose talvez devido à degradação de componentes estruturais e estruturas de membrana.

Na literatura é possível encontrar relatos com ampla variação de tempo de exposição ao ozônio. Em um comparativo do efeito antimicrobiano do ozônio, Agostini *et al.* (2021) expuseram *Staphylococcus aureus* e *Enterococcus faecalis* à água ozonizada e gás ozonizado nas concentrações de 20, 40 e 60 µg/mL por 1 e 2 minutos, avaliando-se o número de unidades formadoras de colônias (UFC/mL). Esses autores observaram que, quando comparados aos controles, todas as concentrações de ozônio foram eficazes na redução de bactérias, porém as concentrações de 40 e 60 µg/mL foram significativamente mais efetivas e no caso da *E. faecalis*, o gás ozonizado foi significativamente mais eficaz do que a água ozonizada. Em outro estudo, Nagayoshi *et al.* (2004) utilizaram doses de 0,5, 2 e 4 mg/L de água ozonizada por 10, 30, 60, e 120 segundos em microrganismos e concluíram que a água ozonizada foi eficaz para matar microrganismos orais gram-positivos e gram-negativos e *C. albicans* orais em cultura pura.

A aplicação de ozônio por meio de névoa é uma novidade e, por isso, ainda pouco explorada. Entretanto, pesquisas relatam os efeitos antimicrobianos em patógenos após exposição a gás ozonizado e água. Sendo assim, esses dois tipos de aplicação de ozônio foram utilizados para avaliação e comparação neste estudo em questão. No âmbito da medicina odontológica diversos estudos enumeram as vantagens promissoras da água ozonizada, isto devido tanto aos seus resultados antimicrobianos quanto a sua facilidade de aplicação e manuseio bem como à segurança de seu uso em relação ao gás ozonizado (NAGAYOSHI *et al.*, 2004; AGOSTINI *et al.*, 2021). As colônias de *Alternaria alternata* apresentaram tendência à inibição de seus crescimentos quando expostas ao ozônio, via névoa ou gás (exceto pelo tratamento de 40 uL L⁻¹ de gás). Esse comportamento de controle microbiano do ozônio reforça que sua empregabilidade na indústria alimentícia é ampla e muito explorável, tendo em vista seu potencial de reduzir o risco à presença de biofilmes microbianos (MARINO *et al.*, 2018).

Assim como a água ozonizada, a aplicação de ozônio via névoa demanda um sistema de geração simples e mostra-se como uma via de aplicação de menor risco aos operadores, uma vez que nessas condições a taxa de decaimento do ozônio reduz muito. Outra vantagem em comum entre as técnicas é que suas aplicações podem ocorrer tanto nas práticas diárias quanto no desligamento da planta, enquanto o ozônio gasoso, ativo em concentrações mais elevadas, é mais instável, dispersa no ambiente e requer a ausência dos operadores para minimizar o risco à saúde (MARINO *et al.*, 2018). Entretanto, o observado neste trabalho é que embora a névoa ozonizada tenha inúmeras vantagens em termos de aplicação e aplicabilidade, o gás ozonizado mostrou-se mais eficiente no controle de *Alternaria alternata*.

5. Conclusão

A aplicação de gás ozonizado nas doses utilizadas mostrou-se mais eficaz que a névoa ozonizada no controle de podridão de *Alternaria* em figos ‘Roxo de Valinhos’ inoculados, sem a dose de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ a de melhor resposta na inibição de seu crescimento.

6. Referências bibliográficas

- ALFENAS, A.C. and R.G. MAFIA, 2007, Isolamento de Fungos Fitopatogênicos. *In: ALFENAS, A.C. and R.G. MAFIA (Ed.), Métodos em fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, pages 53-90.*
- AGOSTINI, F.; FACCINI, M.; FITARELLI, F.; ORTIZ, M.A.L.; SALMERON, S.; OLIVEIRA, R.C.G.; VALARELLI, F.P.; OLIVEIRA, R.C.; FREITAS, K.M.S. In vitro comparison of antibacterial effect of ozonated water and ozonated gas. **Ozone: science & engineering**, v.43, n.4, p.394-400, 2021, [doi: 10.1080/01919512.2020.1811636](https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1811636).
- ALBUQUERQUE, C.C.; CAMARA, T.R.; MARIAN, R.D.R.; WILLADINO, L.; MARCELINO, C.; Ulisses, C. Antimicrobial action of the essential oil of *Lippia gracilis* Schauer. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.49, p. 527-535, 2006, [doi: 0.1590/S1516-89132006000500001](https://doi.org/0.1590/S1516-89132006000500001).
- MARINO, M., MAIFRENI, M.; BAGGIO, A.; INNOCENTE, N. Inactivation of Foodborne Bacteria Biofilms by Aqueous and Gaseous Ozone. **Frontiers in Microbiology**, v.9, n.28, 12p., 2018, [doi: 10.3389/fmicb.2018.02024](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02024).
- NAGAYOSHI, M.; FUKUIZUMI, T.; KITAMURA, C.; YANO, J.; TERASHITA, M.; NISHIHARA, T. Efficacy of Ozone on Survival and Permeability of Oral Microorganisms. **Oral Microbiology and Immunology**, v.19, n.4, p.240-46, 2004, [doi: 10.1111/j.1399-302X.2004.00146.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-302X.2004.00146.x).
- FORNEY, C.F. Postharvest response of horticultural products to ozone. *In: HODGES, M. (Ed.), Postharvest oxidative stress in horticultural crops*. Binghamton, NY: Food Products Press, p.13-53, 2003.
- 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, [doi: 10.1007/s11947-012-1013-4](https://doi.org/10.1007/s11947-012-1013-4).
- OSTRY, V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. **World mycotoxin journal**, v.1, n.2, p.175-188, 2008, [doi: 10.3920/wmj2008.x013](https://doi.org/10.3920/wmj2008.x013).
- PERES, A.P; SILVA-MANN, R.; VIEIRA, M.G.G.C.; MACHADO, J.C. Variabilidade morfo-cultural e genética de fungos associados à podridão peduncular do mamão. **Ciência e agrotecnologia**, v.27, n.5, p.1053-1062, 2003, [doi: 10.1590/S1413-70542003000500012](https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000500012).
- ROSHCHINA, V.V.; ROSCHINA, V.D. Molecular mechanisms of the ozone interaction with plant cellular componets. *In: Roshchina, V.V. (Ed.), Ozone and plant cell*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p.55-69, 2003.

SHANER, G.; FINNEY, R.E., 1977, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, v.67, p.1051-1056, [doi: 10.1094/Phyto-67-1051](https://doi.org/10.1094/Phyto-67-1051).

STOCCO, A.F.; DIAZ, M.E.; ROMERA, M.C.R.; MERCADO, L.A.; RIVERO, M.L.; PONSONE, M.L. Biocontrol of postharvest *Alternaria* decay in table grapes from Mendoza province. **Biological control**, v. 134, p. 114-122, 2019, [doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.03.019](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.03.019).

THOMMA, B.P.H.J., 2003, *Alternaria alternata*: from general saprophyte to specific parasite. **Molecular plant pathology**, v.4, n.4, p.225-236, [doi: 10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X](https://doi.org/10.1046/J.1364-3703.2003.00173.X).

TRONCOSO-ROJAS, R., CORRAL-ACOSTA, Y.; SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; GARCÍA-ESTRADA, R.; AGUILAR-VALENZUELA, A.; OJEDA-CONTRERAS, J.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M.E. Postharvest treatment of isothiocyanates to control *Alternaria* rot in netted melon. **Phytoparasitica**, v.37, p.445-45, 2009, [doi: 10.1007/s12600-009-0062-3](https://doi.org/10.1007/s12600-009-0062-3).

TZORTZAKIS, N.G., SINGLETON, I.; BARNES, J.D. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.47, p.1-9, 2008, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.004](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.004).

WANG, F.; SAITO, S.; MICHAILIDES, T.J.; XIAO, C-L. Postharvest use of natamycin to control *Alternaria* rot on blueberry fruit caused by *Alternaria alternata* and *A. arborescens*. **Postharvest Biology and Technology**, v.172, 6p., 2021, [doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111383](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111383).

DISCUSSÃO GERAL

DISCUSSÃO GERAL

A ficicultura é uma atividade de importância para o país, principalmente na região de Campinas. Com a ocorrência de sua safra no período de entressafra da produção da fruta fresca no hemisfério norte, o produto possui forte potencial de exportação para suprimento da demanda europeia pelo fruto nesse período. Entretanto, por muitas vezes a oferta no mercado externo não atende aos padrões de conservação, aparência e sabor por conta da dificuldade de conservação pós-colheita deste produto ao longo da cadeia de comercialização.

A variedade ‘Roxo de Valinhos’ é a principal do grupo comum e a mais cultivada no Brasil, caracteristicamente possui coloração roxo escura, ostíolo grande e aberto, facilitando a entrada de microrganismos. Diante das dificuldades de sua conservação devido tanto à aspectos de sanitização quanto de manutenção da cadeia de refrigeração ao longo do processo de exportação, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito do revestimento comestível, bem como do ozônio no prolongamento da pós-colheita de frutos de figo.

1. Revestimento comestível em figo ‘Roxo de Valinhos’

O uso de coberturas comestíveis tem sido utilizado como técnica para prolongar a vida útil de diversos produtos agrícolas (FAKHOURI *et al.*, 2007; REYES-AVALOS *et al.*, 2016). Na literatura é possível encontrar uma vasta gama de trabalhos que demonstram que a fécula de mandioca se revela como um polissacarídeo interessante para a formação de película de barreira à perda de umidade, bem como conservação do produto (HENRIQUE e CEREDA, 1999; OLIVEIRA e CEREDA, 1999; SCANAVACA JÚNIOR *et al.*, 2007). Para se chegar à formulação das coberturas testadas no trabalho, o primeiro ponto abordado neste estudo foi a realização de testes preliminares que possibilitassem o alcance de concentrações que permitissem a aplicação das coberturas tanto por meio da imersão do fruto na solução (Figura 1) quanto a sua aspersão com o auxílio de um pulverizador de compressão prévia Western® (Figura 2).

A secagem dos frutos revestidos em ambos os métodos de aplicação foi realizada pela exposição dos mesmos ao ar ambiente do Laboratório (aproximadamente, 22 °C), como demonstrado nos itens (b) das Figuras 1 e 2. Os frutos foram armazenados na câmara fria ao mesmo tempo, embora os revestidos via aspersão tenham secado primeiramente, com cerca de 4 horas, enquanto os demais levaram cerca de 6 horas até completa secagem, que foi percebida

pela mudança de brilho dos frutos (do brilhante ao fosco). Estudos realizados com coberturas a base de fécula de mandioca em diversos produtos indicam que o tipo de epiderme afeta o tempo de secagem. Morangos cv. Camarosa, revestidos com 1% fécula de mandioca, 2% de quitosana e 1% de fécula de mandioca + 2% de quitosana, foram deixados para secarem ao ar por três horas (CAMPOS *et al.*, 2011). Chiumarelli (2011) revestiu maçãs minimamente processadas por meio de imersão em soluções filmogênica a base de fécula de mandioca, glicerol e cera de carnaúba e posterior secagem das coberturas, a temperatura ambiente (18 ± 2 °C), por cerca de 1 hora. Tendo em consideração que o figo possui superfície porosa que favorece a retenção de umidade, a variação no tempo de secagem da cobertura pode dar-se devido ao tipo de epiderme do fruto, consequentemente facilitando ou dificultando a evaporação da água e formação do filme formulado na superfície do produto.



Figura 1. Revestimento de frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ via imersão (a) em cobertura a base de fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca + cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca + cloreto de cálcio + sorbitol (FM + CaCl₂ + S) com posterior secagem ao ar (b).

Dessa forma, embora nesta tese os resultados indiquem que o revestimento com fécula de mandioca promove efeito positivo na perda de massa fresca e incidência de podridão, as formulações nas composições utilizadas tendem a não serem indicadas para uso no beneficiamento de figo ‘Roxo de Valinhos’ utilizando-se as formas de aplicação apresentadas. Isso porque não houve praticidade de aplicação e secagem, tendo em vista a demora no tempo de secagem. Outro ponto a ser considerado é que na metodologia utilizada para revestimento via aspersão, a viscosidade da cobertura não permitiu que o jato liberado pelo pulverizador se

dissipasse em forma de névoa e dispersasse as partículas de modo a escorrer nos frutos, sendo assim, não foi possível recobrimento uniforme na região do ostíolo e quando se insistia na aplicação na tentativa de recobri-lo, a cobertura ia se acumulando, formando-se camadas.

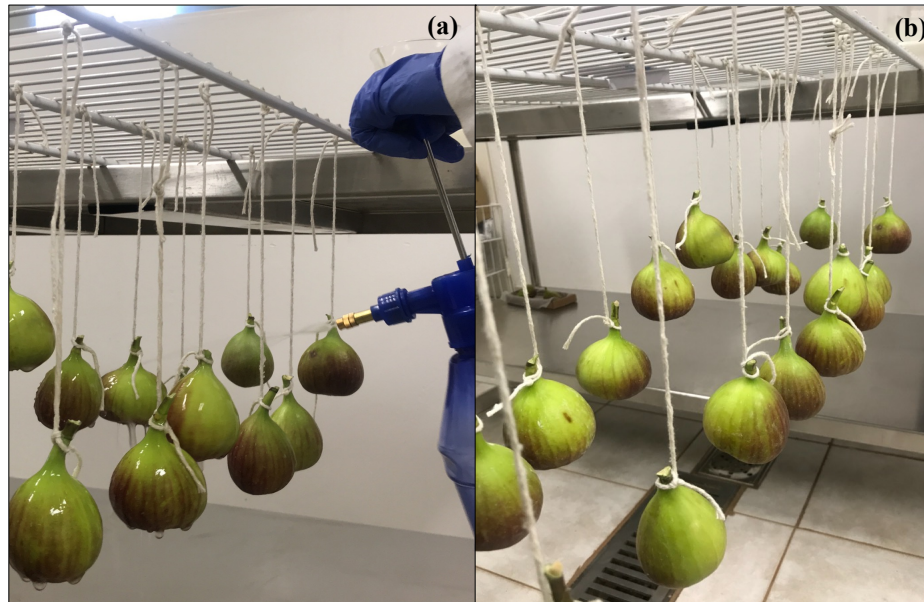


Figura 2. Revestimento de frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ via aspersão (a) em cobertura a base de fécula de mandioca (FM), fécula de mandioca + cloreto de cálcio (FM + CaCl₂) e fécula de mandioca + cloreto de cálcio + sorbitol (FM + CaCl₂ + S) com posterior secagem ao ar (b).

Apesar de não ter havido diferença estatística entre os frutos tratados com e sem o sorbitol ao longo do período de armazenagem, foi possível observar no último dia que a aparência dos frutos tratados com o plastificante apresentava, aparentemente, maior murchamento que os tratados apenas com fécula de mandioca e cloreto de cálcio. A aplicação de filmes de amido engloba inúmeros benefícios, porém acaba por ser limitada por conta do filme formado ser, muitas vezes, quebradiço, exigindo a presença de plastificantes para melhorar sua flexibilidade (PERESSINI *et al.*, 2003 e MALI *et al.*, 2004). A adição de agentes plastificantes à solução filmogênica tem por finalidade superar fragilidades das cadeias poliméricas que possam vir a prejudicar as propriedades de barreiras do filme, tais como lascas ou rachaduras, porém, podem aumentar a permeabilidade ao gás e vapor d’água (GONTARD *et al.*, 1993). A concentração do plastificante adicionado depende das propriedades do polímero, mas é importante que varie entre 10 e 60g/100g de matéria seca (GUILBERT, 1986 e GONTARD *et al.*, 1993). Em pequenas concentrações (geralmente, abaixo de 20g/100g amido), o plastificante interage com a matriz polimérica, mas não o suficiente para aumentar a mobilidade molecular, causando um efeito chamado antiplastificante, ao invés de aumentar a

flexibilidade e hidrofiliçidade (LOURDIN *et al.*, 1997; GAUDIN *et al.*, 1999; 2000). É válido ressaltar que o comportamento do plastificante, bem como da cobertura também dependem das condições de armazenamento, como umidade relativa e temperatura, afinal, o aumento da umidade relativa influencia diretamente nas propriedades de barreira de materiais de alta hidrofiliçidade. Nesse sentido, o sorbitol, como foi adicionado à solução dentro da concentração recomendada (20g/100g de amido), pode ter aumentado a hidrofiliçidade da cobertura e, conseqüentemente, sua permeabilidade ao vapor de água, resultando no maior murchamento dos frutos.

Outra possibilidade que pode ter levado ao maior murchamento dos frutos tratados com o plastificante, é uma possível interação entre o cloreto de cálcio e o sorbitol. A adição do cloreto de cálcio à solução filmogênica acarretou a mudança de brilho da cobertura, tal como foi observado ao último dia de avaliação. Isto é, os frutos revestidos apenas com fécula de mandioca na formulação possuíam maior brilho enquanto aqueles que foram revestidos com a presença de cloreto de cálcio ficaram totalmente opacos. Portanto, sugere-se maiores investigações quanto ao comportamento do cloreto de cálcio em soluções filmogênica contendo amido, bem como sorbitol.

2. Ozônio gasoso e névoa ozonizada em figo ‘Roxo de Valinhos’

Considerado como uma substância GRAS (Generally Recognized as Safe), não residual e poderoso como agente oxidante, o ozônio tem sido cada vez mais estudado no controle microbiano bem como no prolongamento da vida útil pós-colheita e manutenção da qualidade de frutas e hortaliças (AGUAYO *et al.*, 2013; GLOWACZ *et al.*, 2015; ONG *et al.*, 2014; PINTO *et al.*, 2017).

A fim de investigar o efeito do ozônio nos patógenos causadores de doenças em figos ‘Roxo de Valinhos’, primeiramente foi realizado um estudo para identificação dos fungos causadores de podridão e presentes na superfície de frutos de tal cultura. Para tanto, foram adquiridos frutos maduros diretamente de um produtor da região de Campinas, o Brotto Fig’s, os quais foram alocados individualmente em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), umidificados com um borrifador de água e armazenados em câmara BOD à temperatura de 25 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa por sete dias (Figura 1), tempo no qual foi possível identificar os sinais de sintomas e presença do patógeno.



Figura 3. Incubação de figos 'Roxo de Valinhos' para isolamento dos patógenos.

Para isolamento do patógeno, um fragmento de tecido da fruta com o sintoma foi transferido para uma placa de Petri contendo meio de cultura BDA (Batata Dextrose Agar – Figura 5), com o auxílio de um bisturi estéril, sendo essas armazenadas em câmara BOD a 25 ± 3 °C até se observar a ocorrência de crescimento dos microrganismos e, então, ser possível a repicagem para obtenção de colônia pura (ALFENAS e MAFIA, 2007).



Figura 4. Isolamento de *Alternaria alternata* de fruto de figo 'Roxo de Valinhos'.

Dentre os isolados, foram identificados os fungos *Alternaria alternata*., *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp. e *Colletotrichum* spp. Da mesma forma, Souza (2012) identificou *Lasiodiplodia theobromae*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata* e *Fusarium* spp. em frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’ também provenientes da região de Campinas. Com base na sua ocorrência de contaminação não só do ‘Figo Roxo de Valinhos’, mas de demais culturas agrícolas, a *Alternaria alternata* foi o patógeno selecionado para o estudo com ozonização.

O uso do ozônio tem sido cada vez mais difundido na redução da contaminação microbiana, pois além de ser um potente oxidante, não é residual e tem a capacidade de degradar-se rapidamente em oxigênio. Sua aplicação pode ocorrer via gás ou diluído em água. Neste trabalho, sua eficácia foi avaliada por meio da aplicação por gás e névoa ozonizada em sistema montado no próprio LTPC/Unicamp (Laboratório de Tecnologia Pós-colheita/Unicamp) com o emprego de geradores de ozônio fabricados e fornecidos pela MyOzone® (Figura 6).

As diferentes doses de ozônio utilizadas neste estudo (10, 20 e 40 uL L⁻¹), não afetaram a aparência dos frutos tratados nos experimentos realizados nesta tese, em termos de alterações na coloração e danos à epiderme, corroborando com resultados obtidos por Souza et al. (2018), no qual não foi observado alterações nas características de firmeza, perda de massa e cor de cenouras expostas a ozônio na forma gasosa e dissolvida em água. Cavasini (2017) avaliou a aparência de folhas de alface expostas ao ozônio gasoso por meio do surgimento e evolução de manchas na superfície, bem como grau de turgescência das amostras durante o período de armazenamento. Em ensaios nos quais as folhas foram expostas a concentrações de ozônio mais altas (0,46 e 0,65 ppm), independentemente do tempo de exposição e concentrações menores (0,01 a 0,39 ppm) por maior tempo (70, 120, 180, 240, 300, 520, 600 segundos), verificou-se que as amostras apresentaram manchas translúcidas por toda a superfície nas primeiras 24 horas após a aplicação do tratamento. ÖLMEZ e AKBAS (2009) também observaram impacto na qualidade visual de alfaces, tanto pela concentração e tempo de exposição utilizados. Em tal estudo, foi constatado que até níveis de 2 ppm de ozônio, um aumento na concentração resultou em um aumento na qualidade visual geral da alface (QVG). No entanto, acima de 2,5 ppm de ozônio, a QVG diminuiu significativamente, aparecendo como perda de cor e frescor e início do escurecimento, que por sua vez resultou na redução da vida útil do produto. Da mesma forma, o aumento do tempo de exposição para cerca de 2,0 a 2,5 minutos resultou em um aumento na QVG, já o prolongamento do tempo de exposição acima de 2,5 min, levou à redução significativa desse parâmetro nas alfaces. Por fim, as amostras

tratadas com 4,5 ppm de ozônio apresentaram uma rápida diminuição da QVG no dia 5, aparecendo como uma perda significativa na textura e na cor verde, tornando-se translúcidas principalmente nas partes verdes das folhas.

Assim, algumas alterações na coloração do produto podem ser controladas por meio do controle do tempo de exposição e/ou concentração do agente desinfetante, ou seja, de forma que seu emprego inative o microrganismo e ainda preserve a qualidade do produto (BERMÚDEZ-AGUIRRE e BARBOSA-CÁNOVAS, 2013). Como visto, é ampla a variação do período de exposição ao ozônio, seja via gás ou diluído em água, relatado na literatura. Por isso, para determinação dos tempos utilizados neste estudo (5 e 30 minutos para névoa e gás, respectivamente) foi levado em consideração testes preliminares realizados com alternância de doses e intervalos de aplicação. No caso da névoa, o molhamento dos frutos e, para o gás, possíveis danos e injúrias à epiderme foram considerados para definição desse quesito.



Figura 5. Aplicação de gás ozonizado (A) e névoa ozonizada (B) em frutos de figo ‘Roxo de Valinhos’.

A aplicação de ozônio por meio de solução aquosa é mais instável, devido ao fato de sua meia vida ser menor em comparação ao estado gasoso, porém, tem por vantagens em comparação ao gás ozônio puro a ausência de odor, não causa desconforto respiratório e irritação de olhos e pele, que levam ao incômodo humano, por meio da irritabilidade de membranas mucosas. É importante ressaltar que ao gás ozônio está regulamentada pelo Ministério do Trabalho por meio da NR 15 - Atividades e Operações Insalubres, a qual determina que as pessoas podem ser expostas à dose máxima de 0,08 ppm em períodos de 8 horas por dia, e concentrações superiores só podem ser utilizadas em ambientes livres de pessoas. A aplicação de ozônio por meio de névoa é uma técnica extremamente nova e promissora, entretanto, embora o uso de 40 ppm de névoa ozonizada tenha promovido melhor controle do índice de crescimento micelial (ICM) e maior porcentagem de inibição de *Alternaria alternata* no estudo realizado *in vitro*, em figos frescos seu desempenho não foi favorável no que tange a aparência dos frutos, uma vez que a névoa levou a um efeito de umedecimento da superfície dos frutos, causando prejuízo ao seu aspecto visual. Recomenda-se, por fim, a realização de testes mais detalhados para escolha do tempo de aplicação, bem como da concentração a ser aplicada, para exposição do produto à névoa ozonizada, bem como afinidade da superfície do mesmo com tal técnica.

CONCLUSÕES GERAIS

CONCLUSÕES GERAIS

As vantagens do revestimento de frutos com cobertura comestível são inúmeras, tanto dos benefícios de conservação do material revestido quanto do ponto de vista sustentável. Nesse trabalho, os resultados obtidos com a fécula de mandioca nas formulações empregadas indicaram que para o figo, sua epiderme porosa não favorece uma aplicação prática, observados pelo decréscimo da qualidade visual dos figos ‘Roxo de Valinhos’, e pela demora para secagem após o revestimento.

Quanto à aplicação de ozônio, tal agente mostrou-se interessante no controle de *Alternaria alternata* tanto *in vitro* quanto *in vivo*, sendo que a via de aplicação por meio do gás foi mais favorável para o figo, em relação à névoa ozonizada.

Na aplicação dos tratamentos ficou evidenciada a sensibilidade do figo, de epiderme delicada e morfologia que favorece a entrada de microrganismos, demandando o estudo de técnicas que promovem uma maior vida útil pós-colheita desse produto. A aplicação de cobertura comestível neste fruto não deve ser descartada, porém outras formulações e maneiras de aplicação devem ser levadas em consideração para melhor desempenho deste método de conservação. Da mesma forma, sugere-se mais estudos exploratórios com diferentes doses de ozônio e tempos de exposição em frutos de figos, para afirmação da existência de um efeito hormético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUAYO, E.; ESCALONA, V; SILVEIRA, A.C.; ARTÉS, F. Quality of tomato slices disinfected with ozonated water. **Food science and technology international**, v.20, n.3, p.227-235, [doi: 10.1177/1082013213482846](https://doi.org/10.1177/1082013213482846).
- ALFENAS, A.C.; R.G. MAFIA. Isolamento de Fungos Fitopatogênicos. *In*: ALFENAS, A.C. e R.G. MAFIA (Ed.), **Métodos em fitopatologia**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.53-90, 2007.
- BERMÚDEZ-AGUIRRE, D.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. **Food Control**, v.29, p.82-90, 2013, [doi: 10.1016/j.foodcont.2012.05.073](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.073).
- BRASIL. Norma Regulamentadora (NR 15) - Atividades e Operações Insalubres. **Ministério do Trabalho e Previdência**, Anexo 11, 2020, 5p. <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-11.pdf/view>.
- CAVASINI, R. **Caracterização topográfica da epiderme de hortaliças folhosas e mistura gasosa de ozônio na qualidade de alface**. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- FAKHOURI, F.M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P.V.M.; MILANEZ, C.R. STEEL, C.J.; COLLRES-QUEIROZ, F.P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 27, n.2, p.369-375, 2007, [doi: 10.1590/S0101-20612007000200027](https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000200027).
- GLOWACZ, M., COLGAN, R.; REES, D. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce. **Journal of the Food Science & Technology**, v.95, p.662-671, 2015, [doi: 10.1002/jsfa.6776](https://doi.org/10.1002/jsfa.6776).
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, v.58, n.1, p.206-211, 1993, [doi: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x).
- GUILBERT, S. Technology and application of edible protective films. *In*: MATHLOUTHI, M. (Ed.), **Food packaging and Preservation: theorie and practice**, Elsevier, Applied Science Publishers, New York, p.371, 1986.
- HENRIQUE, C.M.; CEREDA, M.P. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria Ananassa Duch*) cv. IAC Campinas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.9, n.2, p.231-233, 1999, [doi: 10.1590/S0101-20611999000200014](https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000200014).

MALI, S., GROSSMANN, M.V.E., GARCÍA, M.A., MARTINO, M.M., e ZARITZKY, N.E. 2004. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v.56, p.129-135, [doi: 10.1016/j.carbpol.2004.01.004](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.01.004).

ÖLMEZ, H.; AKBAS, M. Y. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.487-494, 2009, [doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.07.026](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.026).

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, [doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.07.026](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.026).

OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Efeito da película de mandioca na conservação de goiabas. **Brazilian journal of food technology**, v.2, n.1-2, p.97-102, 1999.

PERESSINI, D., BRAVIN, B., LAPASIN, R., RIZZOTTI, C. e SENSIDONI, A. (2003). Starch–methylcellulose based edible films: Rheological properties of film-forming dispersions. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.25-32, 2003, [doi: 10.1016/S0260-8774\(02\)00426-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00426-0).

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

REYES-AVALOS, M.C.; FEMENIA, A.; MINJARES-FUENTES, R.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J.C.; AGUILAR-GONZÁLEZ, C.N.; ESPARZA-RIVERA, J.R.; MEZA-VELÁZQUEZ, J.A. Improvement of the quality and the shelf life of figs (*Ficus carica* L.) using an alginate-chitosan edible film. **Bioprocess Technology**, v.9, p.2114-2124, 2016, [doi: 10.1007/s11947-016-1796-9](https://doi.org/10.1007/s11947-016-1796-9).

SCANAVACA JUNIOR, L.; FONSECA, N.; PEREIRA, M.E.C. Uso de fécula de mandioca na pós-colheita de manga 'Surpresa'. **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.67-71, 2007, [doi: 10.1590/S0100-29452007000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000100015).

SOUZA, F.C. **Utilização combinada de radiação UV-C e atmosfera modificada para conservação do figo após a colheita**. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Comprovante de cadastro da pesquisa no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético.



**Ministério do Meio Ambiente
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº ABE1905

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **ABE1905**
 Usuário: **Raysa Maduro Alves**
 CPF/CNPJ:
 Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético**
 Finalidade do Acesso: **Pesquisa**

Espécie

Alternaria alternata

Título da Atividade: **REVESTIMENTO COMESTÍVEL, OZÔNIO GASOSO E NÉVOA OZONIZADA EM FIGO 'ROXO DE VALINHOS'**

Equipe

Raysa Maduro Alves	Universidade Estadual de Campinas
Franciane Colares Souza Usberti	Universidade Estadual de Campinas
Yasmim Cristina Rodrigues da Silva	Universidade Estadual de Campinas

Resultados Obtidos

Divulgação de resultados em meios científicos ou de comunicação

Identificação do meio onde foi divulgado: **Defesa de tese de doutorado e submissão à rev**

Data do Cadastro: **18/11/2022 16:16:51**

Situação do Cadastro: **Concluído**

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético
 Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em **16:49** de **18/11/2022**.



SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO
 DO PATRIMÔNIO GENÉTICO
 E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL
 ASSOCIADO - **SISGEN**