

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFEITO DO GÁS OZÔNIO NO CONTROLE DE MICRORGANISMOS E
NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO MORANGO (*Fragaria x
ananassa* Duch.) DURANTE O ARMAZENAMENTO**

CAROLINE ROSA DA SILVA

**BRASÍLIA, DF
2018**

CAROLINE ROSA DA SILVA

**EFEITO DO GÁS OZÔNIO NO CONTROLE DE MICRORGANISMOS E
NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO MORANGO (*Fragaria x
ananassa* Duch.) DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. Dr. ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR

**BRASÍLIA, DF
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, C. R.

EFEITO DO GÁS OZÔNIO NO CONTROLE DE MICRORGANISMOS E NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO MORANGO (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH.*) DURANTE O ARMAZENAMENTO

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2018.

Orientação: Prof^o. Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

1. Ozonização. 2. Morango. 3. Microbiologia.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, C. R. EFEITO DO GÁS OZÔNIO NO CONTROLE DE MICRORGANISMOS E NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO MORANGO (*FRAGARIA X ANANASSA DUCH.*) DURANTE O ARMAZENAMENTO. 2018. Monografia (Graduação em Agronomia) — Universidade de Brasília — UnB, Brasília, 2018.

Cessão de direitos

Nome do Autor: Caroline Rosa da Silva

Título: Efeito do gás ozônio no controle de microrganismos e na qualidade físico-química do morango (*Fragaria x ananassa Duch.*) durante o armazenamento

Ano: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desse relatório e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva - se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

CAROLINE ROSA DA SILVA

Efeito do gás ozônio no controle de microrganismos e na qualidade físico-química do morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante o armazenamento

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária –
Universidade de Brasília
Orientador

Prof^a. Dra. Eliana dos Santos Leandro
Faculdade de Ciências da Saúde – Universidade de
Brasília
Examinador

MSc. Wallas Felipe de Souza Ferreira
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária –
Universidade de Brasília
Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele eu não teria conseguido chegar até aqui e continuar seguindo em frente.

A minha família, que sempre me ajudou e me apoiou durante a vida e a graduação.

Ao professor Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar, pela possibilidade de trabalhar e crescer nessa área.

Ao doutorando Wallas Felipe de Souza Ferreira, pela ajuda que sempre forneceu.

Àqueles que ajudaram na realização deste trabalho, professores e técnicos dos laboratórios, estudantes de graduação e pós-graduação orientados pelo professor Ernandes.

À Universidade de Brasília (UnB), por fornecer a possibilidade de estudo e por todos os seus professores que contribuíram com isso.

Children, make mistakes and come to terms with them. Learning comes with sacrifice.

(Desconhecido)

RESUMO

Efeito do gás ozônio no controle de microrganismos e na qualidade físico-química do morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante o armazenamento

Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência do gás ozônio para sanitização de morangos, controlando microrganismos, e quais seriam suas implicações nas características físico-químicas do morango durante o armazenamento. Foram utilizados morangos da cultivar “Camarosa” adquiridos no Distrito Federal. Ocorreu a divisão em cinco lotes diferentes que consistiam em testemunha sem aplicação de ozônio; tratamento 1 com concentração de ozônio de 3 mg L⁻¹; tratamento 2 com 13 mg L⁻¹; tratamento 3 com 21 mg L⁻¹; e tratamento 4 com 29 mg L⁻¹ de ozônio. O ozônio foi aplicado por trinta minutos na vazão de 1 L min⁻¹ em todos os tratamentos. Depois os morangos foram armazenados em câmara fria a 5 °C. As análises dos frutos foram realizadas no dia da ozonização (tempo zero) e a cada três dias até o nono dia de armazenamento. Verificou-se a presença aeróbios mesófilos e bolores e leveduras, expressos em log (UFC g⁻¹). As variáveis qualitativas avaliadas foram: perda de massa fresca, pH, acidez total titulável, teor de sólidos solúveis, relação SST/ATT e coloração. Adotou-se Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial 5x4, sendo cinco tratamentos e quatro períodos de armazenamento (0, 3, 6 e 9), com três repetições. Foi feita a análise de variância e posteriormente análise de regressão. O gás ozônio foi eficiente no controle de microrganismos. Em relação à qualidade físico-química dos morangos armazenados, o ozônio não afetou expressivamente a perda de massa fresca, acidez total titulável e saturação de cor. Causou leve redução no pH, sólidos solúveis totais, relação SST/ATT e diferença de cor, e aumentou a tonalidade dos morangos. Concluiu-se, que a utilização do ozônio é uma técnica promissora no controle de microrganismos e manutenção da qualidade físico-química de morangos armazenados.

Palavras-chave: Ozonização, morango, propriedades físico-químicas.

ABSTRACT

Effect of ozone gas on the control of microorganisms and the physical-chemical quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) during storage

The objective of this study was to evaluate the efficiency of the ozone gas to sanitize strawberries, controlling microorganisms, and its implications on the physical-chemical characteristics of strawberry during storage. Strawberries of the "Camarosa" cultivar purchased in the Distrito Federal were used. They were divided in five different batches consisting in a control without ozone application; treatment 1 with ozone concentration of 3 mg L⁻¹; treatment 2 with 13 mg L⁻¹; treatment 3 with 21 mg L⁻¹; and treatment 4 with 29 mg L⁻¹ of ozone. Ozone was applied for 30 minutes at 1 L min⁻¹ flow rate in all treatments. The strawberries were then stored in a cold room at 5 ° C. The fruits were analyzed on the day of ozonation (zero time) and every three days until the ninth day of storage. The presence of mesophilic aerobes and molds and yeasts, expressed in log (UFC g⁻¹), were observed. The qualitative variables evaluated were fresh weight loss, pH, titratable total acidity, soluble solids content, SST/ATT ratio and coloration. A completely randomized design was used in a 5x4 factorial scheme, with five treatments and four storage periods (0, 3, 6 and 9), with three replications. Analysis of variance and regression analysis were performed. Ozone gas was efficient in controlling microorganisms. In relation to the physico-chemical quality of stored strawberries, ozone did not significantly affect fresh weight loss, titratable total acidity and color saturation. It caused slight reduction in pH, total soluble solids, SST/ATT ratio and color difference, and increased the hue of strawberries. It was concluded that the use of ozone is a promising technique in the control of microorganisms and maintenance of the physical-chemical quality of stored strawberries.

Keywords: Ozonation, strawberry, physico-chemical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de geração e ozonização dos morangos e destruição residual do gás ozônio.....	33
Figura 2 - Contagem de aeróbios mesófilos log (UFC g ⁻¹) em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	38
Figura 3 - Contagem de bolores e leveduras log (UFC g ⁻¹) em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	39
Figura 4 - Curva de regressão referente à perda de massa fresca (%) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.....	41
Figura 5 - Curva de regressão referente ao pH em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.....	42
Figura 6 – Valores de acidez total titulável (% ácido cítrico) em morangos ozonizados em diferentes concentrações em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.	44
Figura 7 – Relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT em morangos ozonizados em diferentes concentrações em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.	45
Figura 8 – Curva de regressão referente à saturação de cor (C) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.....	47
Figura 9 - Curva de regressão referente à tonalidade (h°) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.	48
Figura 10 - Valores de diferença de cor em morangos em função do período de armazenamento (dias) de frutas com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenadas a 5 °C.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à contagem de aeróbios mesófilos em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	38
Tabela 2 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à contagem de bolores e leveduras em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	40
Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão referentes ao pH e a sólidos solúveis totais (SST, °Brix) de morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	42
Tabela 4 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à acidez total titulável em morangos submetidos a diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	44
Tabela 5 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT) em morangos submetidos a diferentes concentrações do gás ozônio e armazenados a 5 °C.	45
Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão referentes à tonalidade de cor (h°) de morangos submetidos a diferentes concentrações do gás ozônio e armazenados a 5 °C.	48
Tabela 7 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à diferença de cor em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC Association of Official Analytical Chemists

ATT Acidez total titulável

AWWA American Water Works Association Research Foundation

CDC Centers for Disease Control and Prevention

CIE Commission Internationale de L'eclairage

DBD Descarga por Barreira Dielétrica

FAO Food and Agricultural Organization of the United Nations

FDA Food and Drug Administration

GRAS Generally Recognized as Safe

N Normalidade

NaCl Cloreto de Sódio

NaOH Hidróxido de Sódio

nm Nanômetro

OH Radical Hidroxila

OSHA Administração de Saúde e Segurança Ocupacional

pH Potencial hidrogeniônico

ppb Partes por bilhão

ppm Partes por milhão

SST Sólidos solúveis totais

UFC Unidades Formadoras de Colônia

USDA United States Department of Agriculture, Research Service

LISTA DE SÍMBOLOS

a^*	Dimensão do croma vermelho-verde
b^*	Dimensão do croma amarelo-azul
C	Croma
ΔE	Diferença de cor
h°	Tonalidade
L^*	Luminosidade

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2. 1.	Morango	15
2. 1. 1.	Botânica.....	15
2. 1. 2.	Importância	17
2. 1. 3.	Pós-colheita.....	19
2. 1. 4.	Contaminação	21
2. 2.	Ozônio.....	22
2. 2. 1.	Histórico	22
2. 2. 2.	Características	23
2. 2. 3.	Uso em alimentos.....	26
2. 2. 4.	Uso no morango.....	28
2. 3.	Análise microbiológica.....	29
2. 4.	Parâmetros físico-químicos avaliados.....	29
2. 4. 1.	Perda de massa	30
2. 4. 2.	pH	30
2. 4. 3.	Sólidos solúveis totais	30
2. 4. 4.	Acidez total titulável.....	30
2. 4. 5.	Relação SST/ATT.....	30
2. 4. 6.	Cor	31
3.	METODOLOGIA	32
3. 1.	Morango	32
3. 1. 1.	Variedade e obtenção	32
3. 1. 2.	Características	32
3. 2.	Ozônio.....	32
3. 2. 1.	Obtenção	32
3. 2. 2.	Forma de utilização	32
3. 3.	Tratamentos	33

3. 4.	Análises microbiológicas.....	34
3. 4. 1.	Aeróbios Mesófilos.....	34
3. 4. 2.	Bolores e Leveduras	34
3. 5.	Parâmetros físico-químicos avaliados.....	34
3. 5. 1.	Perda de massa	34
3. 5. 2.	pH	35
3. 5. 3.	Sólidos solúveis totais	35
3. 5. 4.	Acidez total titulável.....	35
3. 5. 5.	Relação SST/ATT.....	35
3. 5. 6.	Cor	35
3. 6.	Delineamento experimental.....	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4. 1.	Análises microbiológicas.....	37
4. 2.	Parâmetros físico-químicos avaliados.....	40
5.	CONCLUSÕES.....	50
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

O morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) é cultivado no mundo inteiro (FAO, 2018), sendo de grande importância entre as pequenas frutas (VENDRUSCOLO, 2004). O Brasil tem considerável produção (FAO, 2018; FAGHERAZZI *et al.*, 2017). Sendo feita principalmente no estado de Minas Gerais, com o Distrito Federal como sexto maior produtor (ANTUNES; VIGNOLO; GONÇALVES, 2013). A cultura tem importância econômica (FAO, 2018), social pela geração de emprego e renda (HENZ, 2010), e nutricional (GIAMPIERI *et al.*, 2012).

A forma como a produção e a pós-colheita são conduzidas interferem muito na qualidade final do produto (VIZZOTTO, 2016), se tornando um entrave para muitos pequenos produtores do Distrito Federal que nem sempre realizam o manejo da melhor forma (HENZ, 2010). As frutas são facilmente contaminadas (SIMON; MENEGUZZO; CALGARO, 2005) sendo necessário encontrar sanitização adequada para preservar a qualidade do produto, o que aumentaria a geração de renda vinda dessa cultura.

O sanitizante mais utilizado é o cloro, porém, apresenta problemas devido aos compostos altamente danosos à saúde humana que ele produz, como substâncias mutagênicas e cancerígenas (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Uma técnica alternativa que vem sendo estudada é o uso de ozônio. O ozônio é a forma triatômica do oxigênio que em temperatura ambiente é encontrado na forma gasosa. É uma molécula altamente reativa e com elevado poder de oxidação. Seu uso iniciou como sanitizante de água e foi evoluindo até que o uso em alimentos foi permitido, sendo considerado uma molécula segura (GRAS) para uso em alimentos (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004).

Após esse período, começaram a ser realizados estudos sobre qual seria a melhor forma de utilização em alimentos, indo de carnes, a frutas e verduras, e grãos. Pode ser utilizado na forma de gás ou aquosa (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999), possuindo ação contra fungos, bactérias, vírus e protozoários (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001). No morango, o ozônio pode agir como um sanitizante para esse tipo de organismos ou modificar suas características físico-químicas, sendo necessário avaliar melhor qual seria a forma de utilização, quantidade e tempo de exposição ideais.

Logo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do gás ozônio no controle de microrganismos em morangos e quais suas implicações nas características físico-químicas do morango durante o armazenamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Morango

2.1.1. Botânica

O morango atualmente cultivado (*Fragaria x ananassa* Duch.) é um octaploide de 56 cromossomos (CASTRO, 2004) que provém do cruzamento ocorrido na França entre as espécies americanas *F. chiloensis* Mill e *F. virginiana* Duch., e a espécie foi popularizada por ser grande e ter polpa avermelhada (VIGNOLO *et al.*, 2016).

Pertence à família Rosaceae, subfamília Rosoideae e gênero *Fragaria* L. É uma herbácea estolonífera de pequeno porte, que pode ser rasteira ou ereta, e perene, mas é cultivada como anual pela sanidade (VIGNOLO *et al.*, 2016) e para evitar perdas de produtividade (DE ASSIS, 2004). A cultura é influenciada pela relação entre temperatura e comprimento do dia (SANHUEZA *et al.*, 2005), sendo que as cultivares podem ser de dias curtos, neutros ou longos, de acordo de como reage a essas condições (STRAND, 2008).

A coroa é um tipo de caule modificado e semi-subterrâneo (SANHUEZA *et al.*, 2005) onde se reúnem os rizomas que vão originar a roseta de folhas (VIGNOLO *et al.*, 2016). O meristema é formado por uma sequência de folhas e nós, sendo que entre as folhas e caule há gemas axilares que podem virar estolões ou ramos. Isso varia com o comprimento do dia e temperatura (STRAND, 2008). Pode originar novas coroas à medida que envelhece.

As raízes formam-se da coroa (SANHUEZA *et al.*, 2005), essas são chamadas raízes primárias e as raízes secundárias desenvolvem-se delas e tornam-se a maior parte do sistema radicular (STRAND, 2008). São fasciculadas, pouco profundas e fibrosas, podendo servir como reserva de amido em locais que a planta tem dormência devido ao inverno. Há constante renovação de acordo com a disponibilidade de água, ar, presença de patógenos ou fotoassimilados (VIGNOLO *et al.*, 2016). O crescimento é favorecido por dias curtos (SANHUEZA *et al.*, 2005) e baixas temperaturas (CARVALHO, 2013).

Os estolões são estruturas responsáveis pela propagação assexuada do morangueiro. São caules modificados que rapidamente se transformam em uma nova planta quando seus nós estão em contato com o solo (GONÇALVES, 2016), e até que forme o próprio sistema radicular, os nutrientes e água continuam sendo

fornecidos pela planta que a deu origem. A formação dos estolões é favorecida por dias longos e temperaturas mais altas, e, geralmente, as plantas de dias de dias neutros produzem uma quantidade menor quando comparadas as de dias curtos. Em campos de produção de morangos, os estolões são retirados por representarem competição para o desenvolvimento das flores e frutos (STRAND, 2008). O número de estolões depende da cultivar e das condições climáticas (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996).

As folhas são trifoliadas e ficam dispostas em forma de helicóide na planta (STRAND, 2008) para aumentar área de captação de luz (GONÇALVES, 2016). Os folíolos se ligam por meio do pecíolo, que costuma ser longo, mas varia com a fase em que a planta se encontra, geralmente menor antes da floração, e também possuem estípulas (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996). A cor varia de verde escuro a verde claro, a face superior pode ser brilhante ou opaca, com pilosidade ou glabra dependendo da cultivar (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996; VIGNOLO *et al.*, 2016). Quando há presença de pelos, eles se encontram na face inferior. Possui uma grande quantidade de estômatos, de 300 a 400 por mm², deixando-a muito sensível a qualquer situação que vá reduzir a umidade da planta ou do ambiente (SANHUEZA *et al.*, 2005). A quantidade e área ocupada pelas folhas influencia a quantidade de frutos que vai ser gerada (VIGNOLO *et al.*, 2016).

As flores também são formadas no meristema da coroa. Geralmente são hermafroditas, podendo ter cultivares com flores unissexuais femininas ou masculinas (VIGNOLO *et al.*, 2016). A inflorescência é uma cimeira dicotômica. Nas axilas do eixo primário desenvolvem-se os eixos secundários e esse processo continua até formar flores quinárias (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996). Isso resulta em escalonamento do desenvolvimento das flores e, conseqüentemente, dos frutos (GONÇALVES, 2016). Cada inflorescência pode produzir até 15 flores, porém, o normal é de 5 a 6 flores (STRAND, 2008). O número de sépalas e pétalas é igual a cinco, podendo variar de cinco a sete nas flores primárias, dependendo da cultivar. Geralmente as flores se encontram abaixo das folhas (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996). Possui mais de 20 estames ao redor do receptáculo, e de 200 a 400 pistilos em espiral, cada um com um ovário e apenas um óvulo (VIGNOLO *et al.*, 2016; SANHUEZA *et al.*, 2005).

Os frutos verdadeiros do morango são do tipo aquênios, e são confundidos com as sementes. O receptáculo do ovário origina um pseudofruto

carneiro, suculento e doce, estimulado pelas auxinas liberadas pelos aquênios. A coloração é avermelhada (VIGNOLO *et al.*, 2016), e varia com a exposição ao sol e idade. O tamanho dos pseudofrutos depende da ordem do eixo em que se encontrava e da quantidade de aquênios fecundados (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996), que pode ser afetada por esterilidade feminina, ausência de polinização ou pólen, danos causados por insetos, temperaturas extremas ou geadas. A polinização pode ser anemófila ou entomófila (VIGNOLO *et al.*, 2016).

2. 1. 2. Importância

O grupo das pequenas frutas possui culturas como o morango, framboesa, mirtilo, amora preta, entre outros. Entre elas, o morango é a mais explorada no mundo (VENDRUSCOLO, 2004) e no Brasil (ANTUNES; REISSER JÚNIOR; SCHWENGBER, 2016). O morango é uma cultura produzida em todos os continentes, em maior ou menor quantidade, sendo que a produção é maior na Ásia, seguida pela América e Europa. Em 2016 a produção nesses continentes representou 51,4%, 22,9% e 18,3%, respectivamente. A China possui a maior produção com valores de 3 793 864 milhões de toneladas, seguida pelos Estados Unidos com produção de 1 420 570 milhões de toneladas (FAO, 2018). Nesse ano também, o Brasil teve produção de 3 343 mil toneladas em uma área de 398 hectares, de acordo com a FAO (2018). Porém, os dados de produção de morango no Brasil diferem de acordo com a fonte. Por exemplo, Fagherazzi *et al.* (2017) apresentam dados de órgãos estatais brasileiros que dizem que a produção total brasileira foi de 155 440 mil toneladas em uma área de 4 300 mil hectares durante o ciclo 2015-2016. Demonstrando a problemática dos dados de produção de morango no Brasil. A produção brasileira apresenta um aumento constante desde a década de 90, com acréscimo de 67% (FAO, 2018).

Em 2016, os principais exportadores foram Espanha, Estados Unidos e México, e os principais importadores foram Estados Unidos, Alemanha e Canadá. A exportação brasileira havia sido maior durante o final da década de 70 e a década de 80, depois começou a cair tendo valores de 5 cinco toneladas ou menos desde 2008. As importações costumam ter valores sempre insignificantes, exceto durante a década de 90 e depois entre 2009 e 2015 (FAO, 2018). Ambas as categorias trabalham com morangos *in natura* e congelados. A exportação brasileira tem mais opções de mercado que a importação, as frutas *in natura* vão mais para a França e

Argentina e as frutas congeladas vão para a Holanda, Japão e Austrália (ANTUNES; VIGNOLO; GONÇALVES, 2013).

A produção brasileira se concentra nas regiões Sudeste e Sul, com Minas Gerais sendo o maior produtor com mais da metade da produção, seguidos por São Paulo e Rio Grande do Sul. O Distrito Federal fica em sexta posição (ANTUNES; VIGNOLO; GONÇALVES, 2013), apresentando em 2010, uma das maiores produtividades do país com 40 t ha^{-1} , atrás apenas do Rio de Janeiro e Minas Gerais com 60 e 41 t ha^{-1} , respectivamente (MADAIL, 2016). A possibilidade de plantio em diferentes regiões pode ser explicado pelo trabalho de melhoramento nacional e internacional com cultivares adaptadas a condições distintas (CASTRO, 2004). As principais cultivares são 'Oso Grande' no Sudeste, 'Camarosa', 'Aromas' e 'Albion' na região Sul (ANTUNES; CARVALHO; DOS SANTOS, 2011). Outras cultivares de importância são 'Campinas', 'Guarani', 'Dover', entre outras (CASTRO, 2004).

A produção brasileira se divide em pequenas áreas rurais com média de 0,5 hectare. No Distrito Federal, essas áreas formavam um total de 100 hectares em 2013 (ANTUNES; VIGNOLO; GONÇALVES, 2013). Essa cultura foi introduzida no Distrito Federal na década de 70 trazida de São Paulo por produtores japoneses. As condições climáticas da região central do Brasil são propícias para a produção tanto de mudas como das frutas, resultando produtos de qualidade (HENZ; ARAÚJO; DE FÁTIMA PEREIRA, 2009). O cultivo tem importância no Distrito Federal pela alta produtividade que gera uma boa renda para os produtores e pela grande necessidade de mão de obra ajudando na criação de empregos (HENZ, 2010).

Os produtores de morango da região são, na maioria, enquadrados como agricultura familiar, com experiência em agricultura e menos tempo trabalhando com essa cultura, mas a maioria é responsável pelo seu cultivo. É utilizada tanto mão de obra familiar quanto contratada (HENZ; ARAÚJO; DE FÁTIMA PEREIRA, 2009), sendo o maior custo, cerca de 40% (HENZ, 2010). O cultivo convencional é o mais comum na região (HENZ; ARAÚJO; DE FÁTIMA PEREIRA, 2009), mas sistemas como o orgânico e a produção integrada figuram como formas de diferenciar o produto reduzindo custos e risco de contaminação com defensivos agrícolas, melhorando a confiança dos consumidores, a qualidade e preço do produto (HENZ, 2010; GOMES *et al.*, 2013).

O manejo de produção e pós-colheita afeta a qualidade dos morangos. Alguns fatores são os tratamentos culturais no campo, a cultivar, o estágio de desenvolvimento dos frutos e o processamento. Eles são capazes de alterar as concentrações de compostos fenólicos, modificar atividade antioxidante, entre outros. Essas características são algumas das que fazem o morango ser um alimento bom para a saúde (VIZZOTTO, 2016).

O morango é fonte de fibras que junto com a frutose ajudam a controlar o açúcar no sangue e tem efeito de saciedade, é rico em potássio, manganês, vitamina C e B9 (GIAMPIERI *et al.*, 2012). A vitamina B9, ácido fólico ou folato é importante para divisão celular e necessário no metabolismo de aminoácidos, evita câncer e complicações na gestação. Morangos podem fornecer de 40 a 60% da dose diária recomendada em 250-350 gramas, com quantidades maiores nas frutas frescas (TULIPANI; MEZZETTI; BATTINO, 2009).

Também possui cálcio, fósforo, magnésio, outros minerais, outras vitaminas como A, E e K, e muita água. Os aquênios possuem ácidos graxos insaturados essenciais. Outras características interessantes são os compostos como flavonoides, taninos hidrolisáveis e ácidos fenólicos, sendo que os principais componentes de cada grupo são as antocianinas, elagitaninos e ácidos hidroxicinâmicos, respectivamente (GIAMPIERI *et al.*, 2012). Esses compostos junto com os antioxidantes ajudam no controle de doenças cardiovasculares, câncer de fígado, de cólon e mama, controle de diabetes tipo 2 e hipertensão, melhora o perfil de lipídios séricos relacionados ao colesterol e melhora o sistema imunológico (VIZZOTTO, 2016; GIAMPIERI *et al.*, 2012; YANG; KORTESNIEMI, 2015).

2. 1. 3. Pós-colheita

A colheita inicia de 2 a 3 meses após o plantio e pode ocorrer por até 7 meses variando com as condições do local, cultivar, distância e tipo de mercado (GALEGÁRIO *et al.*, 2005). Nas regiões mais quentes, a colheita vai de abril a outubro e nas regiões mais frias pode chegar a dezembro (FLORES CANTILLANO, 2016) ou janeiro nas cultivares de dias curtos podendo durar mais com cultivares de dias neutros. O ideal é que a colheita seja feita nas horas mais frescas do dia quando as frutas estão mais firmes, os períodos quentes facilitam a deterioração das frutas (ANTUNES; CARVALHO; DOS SANTOS, 2011).

Os morangos são coletados com torção do pedúnculo. Dependendo do mercado, o tamanho do pedúnculo pode variar, mas costuma ser de tamanho pequeno para não ferir os outros morangos. O cálice é deixado por contribuir para o aumento da vida de prateleira (STRAND, 2008). A coleta deveria ser realizada com o uso de luvas (ANTUNES; CARVALHO; DOS SANTOS, 2011), respeitando o período de carência dos produtos aplicados para evitar contaminação com resíduos (GALEGÁRIO *et al.*, 2005), tomando cuidado para evitar danos que os deixariam suscetíveis a microrganismos (FLORES CANTILLANO, 2016), com embalagem no campo ou levando para onde isso será feito (GALEGÁRIO *et al.*, 2005) de uma a duas horas após colheita (STRAND, 2008).

A taxa de respiração do morango não aumenta e não tem produção de etileno após a colheita classificando-o como uma fruta não climatérica. Essa é uma característica importante, significa que a colheita precisa ocorrer quando as frutas estão maduras já que suas características organolépticas desejáveis não aumentam após a colheita, apenas se deteriora. O ponto de colheita pode variar de meio a $\frac{3}{4}$ maduro, ou seja, com 50% a 75% da superfície do fruto com coloração vermelha quando a comercialização é para mesa e *in natura*. Isso vai depender da distância do mercado consumidor (FLORES CANTILLANO, 2016). Quando a venda é para a indústria, as frutas são mais maduras (GALEGÁRIO *et al.*, 2005).

Depois da colheita, a principal técnica a ser realizada para reduzir deterioração do morango e aumentar a vida de prateleira é o resfriamento rápido (STRAND, 2008; FLORES CANTILLANO, 2016). Consiste no uso de ar frio forçado o mais rápido possível após a colheita para retirar o calor do campo antes de atingir a temperatura definitiva de armazenamento. Idealmente, a temperatura é reduzida para 5°C em duas ou três horas. A umidade no local tem que ser de 95% para que o produto não desidrate. O resfriamento rápido permite retardar a deterioração (FLORES CANTILLANO, 2016) e reduzir o desenvolvimento de organismos que podem acelerar esse processo (STRAND, 2008).

O processo de classificação e embalagem pode ser realizado no campo. Se for feito depois, é preferível que as frutas fiquem em local sombreado e fresco (FLORES CANTILLANO, 2016). A classificação busca formar lotes mais homogêneos, morango usa pelo menos os parâmetros de tamanho e coloração. As embalagens de comercialização costumam ser cumbucas plásticas (PET) cobertas com filme PVC (GALEGÁRIO *et al.*, 2005). Elas são acondicionadas em embalagens

de papelão, cabendo quatro em cada (HENZ, 2010), tem dimensões que facilitam formar paletes e devem permitir a aeração do lote. Esses processos devem ser feitos com o mínimo de manuseio possível nas frutas para evitar danos devido à fragilidade do produto. Os rótulos contêm informações sobre o produtor e produto, facilita a rastreabilidade, informa as características do produto e aumenta confiança pelo consumidor (FLORES CANTILLANO, 2016).

O armazenamento deve ser feito em temperaturas baixas, 0 a 1°C com umidade de 90 a 95%. O monitoramento deve ser constante para garantir que essas condições sejam mantidas (FLORES CANTILLANO, 2016; GALEGÁRIO *et al.*, 2005). Temperaturas baixas aumentam a vida de prateleira do morango fazendo com que ocorram poucas mudanças nos parâmetros de qualidade, sendo que esses fatores são influenciados pela cultivar (CORDENUNSI; NASCIMENTO; LAJOLO, 2003). Outra técnica que pode ser utilizada em conjunto com o resfriamento nessa fase é a atmosfera modificada com CO₂, que altera o metabolismo retardando a deterioração (FLORES CANTILLANO, 2016).

O problema é que muitas dessas técnicas não são realizadas pelos produtores do Distrito Federal, principalmente pela elevação do custo de produção, e a pós-colheita se torna um grande impasse na manutenção da qualidade e viabilidade do produto (HENZ, 2010).

2. 1. 4. Contaminação

Pela fragilidade dos tecidos do morango, os frutos não são sanitizados após a colheita, sendo embalados da forma em que são colhidos, mas com o cuidado de não misturar frutas que apresentem contaminações (FLORES CANTILLANO, 2016). A contaminação pode ocorrer por agentes microbiológicos, químicos e físicos, de fontes como a água, insumos, embalagens, agrotóxicos, desinfetantes, insetos, entre outros (MATTOS; FLORES CANTILLANO, 2016).

Os frutos são acometidos por doenças como mofo cinzento causado por *Botrytis cinerea*, podridão por *Rhizopus nigricans* e podridões por antracnose causada por *Colletotrichum spp.*, todas são doenças fúngicas e depreciam a qualidade e segurança alimentar. As doenças podem ocorrer tanto no campo quanto na comercialização e devem ser separadas das plantas saudáveis para evitar contaminação (SIMON; MENEGUZZO; CALGARO, 2005).

Mattos e Flores Cantillano (2016) apresentam diversos trabalhos em que foram constatadas contaminações em morangos vindos de sistemas de produção convencional e orgânico. Existe muita contaminação com coliformes totais e fecais e outras enterobactérias, entre os organismos foram encontrados *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Escherichia coli* e *Staplylococcus aureus*. Esses patógenos podem ser encontrados na água de irrigação, nos adubos orgânicos e biofertilizantes, mãos e luvas dos coletores. Também já foram encontrados vírus como o Norovírus genegrupo I, rotavírus e o vírus da hepatite E genótipo 3 em campo de morango no Canadá (BRASSARD *et al.*, 2012) e casos de hepatite A nos Estados Unidos pelo consumo de morangos congelados contaminados (Centers for Disease Control and Prevention - CDC, 1997; CDC, 2016).

É necessário avaliar diferentes técnicas que possam ser utilizadas durante a produção e pós-colheita para garantir a qualidade físico-química e microbiológica dos morangos que são comercializados.

2. 2. Ozônio

2. 2. 1. Histórico

O ozônio foi descoberto no século 19, em 1839, pelo químico suíço Christian Schönbein. Depois disso, muitas descobertas foram feitas durante esse século, como sobre a forma e composição química, produção e potencial antimicrobiano (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2015). Os estudos e uso eram maiores na Europa, principalmente na França, Alemanha e Suíça (American Water Works Association - AWWA, 1991). O primeiro gerador de ozônio foi construído em 1875 por Werner Von Siemens, em Berlim na Alemanha (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009), e a primeira planta de ozonização foi construída em 1893 nos Países Baixos para tratamento de água potável.

Durante o início do século 20, muitas outras plantas foram construídas na Europa e nos Estados Unidos (AWWA, 1991). O principal propósito do uso do ozônio sempre foi o tratamento de água (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004) para desinfecção e retirada de odores e sabores. O uso de ozônio teria sido mais disseminado durante o século passado não fosse o desenvolvimento do cloro e seu uso como sanitizante mais barato (AWWA, 1991).

Não obstante, mesmo sendo considerado seguro para uso (GRAS – Generally Recognized As Safe) e de ampla aplicação na indústria alimentícia para controle de microrganismos, os compostos clorados possuem inconvenientes. O uso em concentrações altas é prejudicial e tóxico. O principal problema com o cloro é que quando reage com compostos orgânicos ocorre à formação de subprodutos como trihalometanos e ácidos haloacéticos. Ambas as substâncias são extremamente prejudiciais (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Alguns dos problemas que esses compostos causam são irritações nos olhos e pele quando encontrados em piscinas, tem efeitos no sistema reprodutor e nervoso, em órgãos importantes como o fígado, rins e bexiga, além de serem carcinogênicos e mutagênicos (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; FLORENTIN; HAUTEMANIÈRE; HARTEMANN, 2011; GOPAL *et al.*, 2007). Também podendo ser um problema ambiental dependendo do modo como esses compostos são descartados (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004).

Em 1982, nos Estados Unidos, o departamento governamental FDA (Food and Drug Administration) considerou o ozônio como uma molécula GRAS, começando a ser usado em garrafas de água. Mais tarde, em 1997 o USDA (United States Department of Agriculture) permitiu o uso em água de resfriamento de frango. O uso em alimentos iniciou no mesmo ano depois que um painel de especialistas foi realizado com base nos trabalhos publicados no mundo inteiro e afirmou que o ozônio era uma substância GRAS para sanitização e desinfecção de alimentos, o que foi aprovado pelo FDA (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Em 2001, esse departamento também aprovou o uso do ozônio como aditivo direto em alimentos para tratamento, armazenamento e processamento (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; OZONE SOLUTIONS, 2014; O'DONNELL *et al.*, 2012). Com isso, o estudo do uso de ozônio em alimentos aumentou.

2. 2. 2. Características

O ozônio é uma molécula que ocorre de forma natural na Terra, normalmente é formada na estratosfera pela reação da radiação solar de raios ultravioleta que agem em moléculas de oxigênio gerando um composto que é a forma triatômica do oxigênio, considerado uma modificação alotrópica (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003). Possui odor característico

que pode ser detectado em pequenas concentrações (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; O'DONNELL *et al.*, 2012). Em temperatura ambiente é um gás azul, que se for formado de oxigênio puro não possui coloração, também não é notada em pequenas doses (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; O'DONNELL *et al.*, 2012; KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003). À temperatura de aproximadamente $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ vira um líquido azul escuro e o ponto de fusão é a $-192\text{ }^{\circ}\text{C}$ (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; COELHO *et al.*, 2015; O'DONNELL *et al.*, 2012).

É extremamente reativo podendo ser explicado pela sua estrutura molecular que possui possíveis campos de ligação livres, fazendo com que o ozônio possa se ligar de quatro formas distintas (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; O'DONNELL *et al.*, 2012). Essa reatividade também pode ser algo desfavorável por decompor o ozônio e não se saber como vai reagir com certos materiais (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999). Possui alto poder de oxidação, 2,07 mV, ficando atrás apenas do flúor, 3,06 mV (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2015; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Isso lhe confere poder de destruição ou síntese, sendo que é mais utilizado pelo seu poder destrutivo, que modifica um composto ou inativa um patógeno. As aplicações do ozônio podem se dividir em quatro tipos, desinfecção, oxidação de compostos inorgânicos, oxidação de compostos orgânicos e remoção de partículas (GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009). O seu alto poder oxidativo é a característica que mais chamou atenção da indústria, que passou a produzi-lo.

Para que o ozônio seja produzido é preciso ocorrer a quebra de uma molécula de oxigênio (O_2) e o oxigênio livre se liga a outra molécula de O_2 , sendo que esse processo necessita muita energia para quebrar o oxigênio (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; O'DONNELL *et al.*, 2012). Pode ser produzido por métodos térmicos, radioquímicos e eletroquímicos, sendo que os principais são o fotoquímico e descarga elétrica. O método fotoquímico usa lâmpadas de radiação ultravioleta com comprimento de onda de 140 a 190 nm, não é muito usado industrialmente pelo baixo rendimento e alto consumo energético (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011).

O método de descarga elétrica por efeito corona consiste na utilização de dois eletrodos, um com alta tensão e o outro com baixa tensão, separados por uma cerâmica dielétrica e um pequeno espaço entre eles. Uma corrente alternada de alta

voltagem passa pelo espaço de descarga e excita o oxigênio enquanto ele está passando por esse espaço. Quando consegue atingir energia cinética suficiente, sua ligação é desfeita e o ozônio é formado em pequenas quantidades. A quantidade de ozônio formado vai variar com a fonte de oxigênio, sendo maior quando é usado oxigênio puro do que o ar (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004), da voltagem, frequência da corrente, do espaço de descarga, entre outros (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999). O material também influencia muito, já que o ozônio reage com ele e pode ter sua eficiência alterada (KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003).

O ozônio pode ser usado na forma de gás ou em solução aquosa, sendo que o uso do gás é menos visto. Ainda assim, há estudos sobre o uso no armazenamento de grãos para controle de microrganismos, como fungos na cevada (ALLEN; WU; DOAN, 2003) e no trigo (WU; DOAN; CUENCA, 2005); uso para controle de bactérias, como *Escherichia coli* e *Bacillus cereus* em figos secos (AKBAS; OZDEMIR, 2008); para desinfecção de ambientes, como câmaras frigoríficas de armazenamento de queijo (CAVALCANTE *et al.*, 2014), entre outros (GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009). O uso em solução aquosa é mais comum, sendo usado em diversos produtos (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; COELHO *et al.*, 2015; KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003; WANG; FENG; LUO, 2004). A solubilidade em água varia com a temperatura, sendo maior à medida que a temperatura cai (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; COELHO *et al.*, 2015). A estabilidade da molécula varia com o pH da água em que se encontra, aumentando em pH mais ácido (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001). O ozônio também funciona melhor em meios mais úmidos (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003). Em meio aquoso, o ozônio pode reagir com os compostos de forma direta ou indireta, que seria a reação com os subprodutos formados da decomposição do ozônio na água (AWWA, 1991). A meia vida do ozônio difere quando está na forma gasosa ou aquosa. Costuma ser maior como gás. Na água muitos fatores influenciam a meia vida, como temperatura, pureza (O'DONNELL *et al.*, 2012), pH, luz ultravioleta e concentração de moléculas captadoras de radicais (AWWA, 1991). Os principais captadores de radicais são carbonato ou bicarbonato, quando presentes na água a meia vida aumenta por retirar a hidroxila (OH) resultante da oxidação do ozônio deixando-o mais estável (GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009). Em água, a meia vida já foi relatada

variando de 2 a 165 minutos (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001) e como gás chega a 12 horas (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; COELHO *et al.*, 2015).

O ozônio tem capacidade de inativar diversos tipos de microrganismos, como bactérias, fungos, vírus, e protozoários (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Talvez o estudo maior seja sobre o efeito em bactérias devido a sua complexidade. Alguns modos de ação principais são a oxidação do envoltório celular em componentes como os ácidos graxos poli-insaturados, que causa lise e vazamento do conteúdo celular; inativação de enzimas agindo como um oxidante geral para protoplasma; reagindo com material nucléico, modificando-o e alterando suas características; entre outros (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; KIM; YOUSEF; KHADRE, 2003).

Infelizmente, o ozônio também pode ser tóxico para humanos e animais, sendo que nos Estados Unidos a Administração Ocupacional de Segurança e Saúde (OSHA) permite exposição de 0,1 ppm, com máximo de 0,25 ppm, de ozônio como uma média ponderada no tempo durante uma carga horária de 8 horas por dia e 40 horas por semana, ou 0,2 ppm por máximo de 10 minutos (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; MUSTAFA, 1990). A contaminação pode ser pela água, gás ou os subprodutos formados de suas reações. Três tipos de toxidez podem ocorrer a aguda, rápida por pequenos períodos de exposição; subcrônica, com mudanças bioquímicas e fisiológicas; e crônica, por longo período de exposição (GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009). Alguns exemplos dos mecanismos de intoxicação são formação de radicais livres, alteração na permeabilidade de membranas, indução de inflamações, entre outros (MUSTAFA, 1990). Pode causar problemas pulmonares, irritações nos olhos, garganta e pele, podendo chegar a ter efeitos letais (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004; GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2009; MUSTAFA, 1990).

2. 2. 3. Uso em alimentos

O ozônio é capaz de inativar microrganismos nas baixas concentrações em que é utilizado. Porém, se for usado em concentrações muito altas pode acabar tendo efeitos negativos nos alimentos com oxidação da superfície causando descoloração, odores desagradáveis, pode levar a mudanças sensoriais e redução da qualidade. Entretanto, isso varia com as condições e o uso.

Muitos estudos foram feitos com diversos alimentos de origem animal e vegetal para tentar determinar as condições ideais de uso do ozônio na inativação de organismos e melhoria ou manutenção da qualidade. Em carnes, já foram encontrados resultados de redução na quantidade e estacionamento do crescimento de bactérias. Para a cadeia de aves, o ozônio pode ser usado desde a incubação até abate, com melhoria na qualidade dos ovos para comércio e queda dos microrganismos encontrados na carcaça e nos ovos para incubação (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999). O uso mais comentado em aves é para redução de microrganismos na água de resfriamento da carcaça que marcou o início do uso do ozônio em alimentos (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011; KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001; GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Também há estudos em outros alimentos como peixes (CAMPOS *et al.*, 2005), queijos (LANITA; SILVA, 2008), cereais (PIMENTEL *et al.*, 2016; TIWARI *et al.*, 2010), entre outros (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011).

Frutas e vegetais são melhores para utilização do ozônio, pois os microrganismos são mais encontrados na superfície do alimento que é mais lisa e demanda quantidades menores para controle, não causando problemas para as características dos produtos (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001). Pode ser usado durante o armazenamento reduzindo microrganismos sem afetar a composição química ou modificar suas propriedades (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). O ozônio pode ser empregado diretamente nos alimentos ou nos insumos de processamento. Já foi testado em vegetais usados no processamento mínimo, reduzindo contaminação de bolores e leveduras (BOTELHO DA SILVA *et al.*, 2011). O uso na água de lavagem das cenouras pode diminuir as quantidades coliformes totais e fecais (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999). Coelho *et al.*, 2015 reúne algumas pesquisas feitas em frutos e como as diferentes técnicas de aplicação de ozônio afetaram a qualidade sensorial e nutricional sempre havendo a redução da população microbiana.

A ação conjunta do ozônio com outros métodos de sanitização demonstra melhores resultados na sanitização. Pode ser usado com cloro, campo elétrico pulsado (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001), dióxido de cloro e ultrassom. Isso também pode aumentar a qualidade e vida de prateleira (ADAY; CANER, 2014).

2. 2. 4. Uso no morango

Entre as frutas avaliadas com o uso de ozônio está o morango, com enfoque em vários campos diferentes. Estudos já foram conduzidos sobre como a planta se comporta em condições de longo estresse com ozônio. Durante o crescimento da planta, a extensa exposição de em média 78 ppb por dois meses de produção durante dois anos seguidos, causa redução no número de folhas causando redução na área foliar, a biomassa radicular diminui, reduz carboidratos nas folhas, coroa e raiz, também acaba criando mecanismos de resistência com redução do volume de espaço interno da folha (KEUTGEN; NOGA; PAWELZIK, 2005). Em relação à qualidade, o estresse durante dois meses de produção com média de $156 \mu\text{g m}^{-3}$ de ozônio causa queda no conteúdo de ácido ascórbico e doçura pela redução de frutose, e aumenta peroxidação lipídica, sendo o último mais visível em condições de varejo (KEUTGEN; PAWELZIK, 2008). Esses efeitos podem variar com a susceptibilidade da cultivar (KEUTGEN; NOGA; PAWELZIK, 2005; KEUTGEN; PAWELZIK, 2008).

Quando o ozônio é aplicado na pós-colheita na forma de gás com concentração de 0,35 ppm por três dias em temperatura de 2 °C para a preservação da qualidade durante condições de varejo à 20 °C, a quantidade de antocianina pode abaixar mais do que em frutas sem exposição ao ozônio, características aromáticas caem bastante e a quantidade de ácido ascórbico aumenta. A sacarose reduz e, em um primeiro momento, não é relacionado ao aumento de frutose e glicose, esses açúcares também apresentam valores menores do que em frutos não ozonizados (PÉREZ *et al.*, 1999). Com água ozonizada na concentração de 0,3 ppm, os morangos apresentaram maior firmeza durante o armazenamento e a perda de ácido ascórbico foi menor quando comparado a morangos sem tratamento ou tratados com outras técnicas que não o ozônio. Nesse caso, a ozonização preservou a quantidade de antocianinas nos morangos.

Ozônio é uma forma eficaz de reduzir microrganismos. Para mesófilos totais, água ozonizada com 0,3 ppm de ozônio consegue reduzir $1,21 \pm 0,33$ ciclos log (ALEXANDRE; BRANDÃO; SILVA, 2012). O gás consegue reduzir a quantidade de *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella enterica*, sendo que a redução varia com o tipo de tratamento, mas tempos maiores conseguem ter mais redução (BIALKA; DEMIRCI, 2007). Também ocorre redução fúngica por algum tempo de armazenamento e depois aumenta a incidência de *Botrytis cinerea*, para ter o efeito

reduzido por mais tempo seria necessário maior exposição dos morangos ao ozônio (PÉREZ *et al.*, 1999).

2. 3. Análise microbiológica

O morango pode ser atacado por todo tipo de fitopatógeno e como as condições dos locais produtores costumam ser favoráveis para o desenvolvimento dos patógenos, acabam ocorrendo muitas perdas na produção. Para tentar reduzir as perdas, os produtores costumam recorrer aos produtos químicos, mas nem sempre isso reduz os estragos.

O principal problema para o morango são os fungos que causam a maioria das doenças, em todas as partes da planta. O principal é o gênero *Colletotrichum*, com *C. acutatum* e *C. fragariae*. Para os frutos, o maior problema é *B. cinerea*, sendo que as espécies do gênero *Colletotrichum* também ocorrem nessa parte da planta. A principal bactéria é a *Xanthomonas fragariae* que causa mancha angular nas folhas (UENO; COSTA, 2016).

Os aeróbios mesófilos são bactérias que indicam a qualidade durante a pós-colheita, desde a limpeza até armazenamento. Mostram se o manejo foi feito de forma correta, especialmente sobre a temperatura.

Os bolores e leveduras são fungos que podem ser encontrados em diversos tipos de alimentos (SILVA, 2002) e se desenvolvem em temperaturas que vão de 25 °C a 30 °C, com pH preferencialmente entre 4,5 e 5, entretanto, existem variações sobre as condições ótimas dependendo do patógeno. Esses organismos estão muito ligados a deterioração dos alimentos (BORGES, 1999).

2. 4. Parâmetros físico-químicos avaliados

A qualidade é um parâmetro muito variável. Depende do tipo de produto, do ponto da cadeia, mercado de interesse, entre outros. Mas, alguns dos fatores que constituem aspectos de determinação da qualidade são a aparência, firmeza, *flavor* e valor nutricional (KADER, 1999). Para morango, esses são os determinantes de sua qualidade, sendo que a aparência envolve coloração, tamanho, forma, livre de defeitos; a firmeza afeta sua resistência a danos; *flavor* que determina o sabor e aroma pela quantidade de açúcares, ácidos, compostos fenólicos e voláteis; e valor nutricional com determinação das concentrações de seus compostos (KADER, 1991).

2. 4. 1. Perda de massa

O morango é uma fruta com parede celular frágil que troca grande quantidade de água e gases. À medida que os frutos amadurecem, a firmeza do produto cai, facilitando que ocorram as trocas e consequente perda de massa (KADER, 1991). A relação entre área superficial e volume do produto tem grande influência na quantidade de evaporação, sendo que para o morango é de 2 a 5 cm² cm⁻³ (PAULL, 1999) e perda de massa aceitável de 6% mas a susceptibilidade à perda varia com a cultivar (GARCÍA; MEDINA; OLÍAS, 1998).

2. 4. 2. pH

O valor de pH dos alimentos é importante para sua segurança, determinando o tipo de microrganismos que crescem nele, sendo que abaixo de 4,6 é um alimento de alta acidez, acima é de baixa acidez, e igual ou menor que 4,6 mas com compostos de pH superior a esse valor é um alimento acidificado (LINDOW, 2018). O pH do morango varia com a cultivar (ANTUNES *et al.*, 2010), mas com valores variando de 3,18 a 4,1 (KADER, 1991).

2. 4. 3. Sólidos solúveis totais

Quase a totalidade dos sólidos solúveis (°Brix) presentes no morango se dividem em sacarose, glicose e frutose. A quantidade dos açúcares aumenta com a maturação, deixando-os melhores para o consumo (MONTERO *et al.*, 1996). Os sólidos solúveis totais do morango costumam ficar em uma faixa de 4,6 a 11,9% (KADER, 1991). Sendo que esse valor varia com a cultivar e época de colheita (ANTUNES *et al.*, 2010; KADER, 1991).

2. 4. 4. Acidez total titulável

Os ácidos encontrados em maior quantidade no morango são o cítrico e málico, sendo também uma boa fonte de ácido ascórbico. A concentração de ácidos reduz com o amadurecimento (MONTERO *et al.*, 1996). Os valores médios vão de 0,5 a 1,87%, também tendo variação com a cultivar e época (KADER, 1991).

2. 4. 5. Relação SST/ATT

É um grande componente para determinação do sabor, fazendo com varie de acordo de acordo com seu valor e quantidade separadas dos sólidos solúveis e acidez titulável (PAULL, 1999). A melhor combinação é alta concentração de sólidos e relativamente alta quantidade de ácidos (KADER, 1991). Também pode

ser usado como indicador de maturação, já que seu valor aumenta à medida que os morangos amadurecem (BASSON *et al.*, 2010).

2. 4. 6. Cor

A cor é um elemento muito importante para morangos. Por meio dela é determinado o ponto de colheita. Com o amadurecimento, a quantidade de antocianinas aumenta e elas são as responsáveis pela coloração (KADER, 1991; DEL POZO-INSFRAN *et al.*, 2006). Essa é uma das características analisadas durante a compra, especialmente em compras menos frequentes (COLQUHOUN *et al.*, 2012).

3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Alimentos, no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais, no Laboratório de Análises de Leite e Derivados da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária na Universidade de Brasília.

3. 1. Morango

3. 1. 1. Variedade e obtenção

Foram utilizados morangos da cultivar ‘Camarosa’ cultivados no Distrito Federal e obtidos no dia 15 de agosto de 2018.

3. 1. 2. Características

Os morangos estavam no ponto de colheita para venda *in natura* e foram selecionados, retirando frutos com lesões, ferimentos, ou que não estavam sadios.

3. 2. Ozônio

3. 2. 1. Obtenção

O gás ozônio foi obtido por meio de um gerador de ozônio (Modelo O&L 5.0 RM – Ozone & Life, São José dos Campos, SP) baseado no método de Descarga por Barreira Dielétrica (DBD) – efeito corona.

O gerador de ozônio tinha um concentrador de oxigênio acoplado a ele para servir como fornecimento de oxigênio, e era fornecido com grau de pureza de aproximadamente 90% e isento de umidade.

Ligado à saída de ar do container onde estavam os morangos, tinha um destruidor térmico para onde era levado o ozônio residual para evitar problemas de toxicidade do ar com concentrações altas de ozônio.

3. 2. 2. Forma de utilização

O ozônio foi aplicado na forma de gás nas amostras. O gerador de ozônio estava ligado por duas entradas a um recipiente plástico com tampa e que também possuía um orifício de saída que levava ao destruidor térmico. O esquema em foi montado a ozonização pode ser observado na Figura 1.

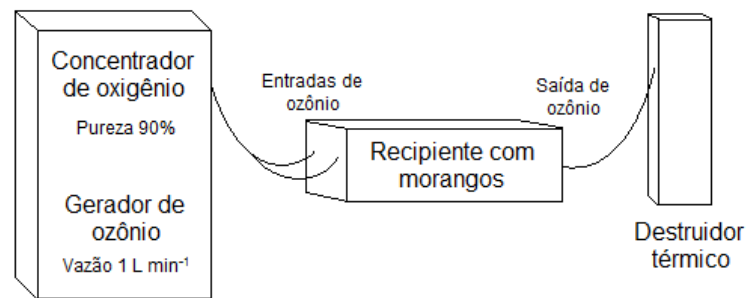


Figura 1 - Esquema de geração e ozonização dos morangos e destruição residual do gás ozônio.

3.3. Tratamentos

Foi utilizado um total de 6 kg de morango divididos em cinco lotes iguais, ou seja, cada um com 1,2 kg. Cada lote representava um tratamento, eles consistiam em:

- Testemunha com concentração de ozônio de 0 mg L⁻¹;
- Tratamento 1 com concentração de ozônio de 3 mg L⁻¹;
- Tratamento 2 com concentração de ozônio de 13 mg L⁻¹;
- Tratamento 3 com concentração de ozônio de 21 mg L⁻¹; e
- Tratamento 4 com concentração de ozônio de 29 mg L⁻¹.

Os morangos não eram lavados antes de serem tratados, representando a condição mais comum de sua pós-colheita. Eles foram distribuídos no recipiente ligado ao gerador de ozônio, um lote por vez, e as diferentes concentrações, foram ozonizadas por 30 minutos na vazão de 1,0 L min⁻¹, exceto a testemunha que não teve aplicação de ozônio. Depois, cada tratamento foi dividido igualmente em quatro, representando o tempo de armazenamento, e com três repetições. Isso resultou em 12 amostras por concentração e 15 amostras por dia de armazenamento.

Os dias escolhidos para análise no armazenamento foram o tempo 0, 3, 6 e 9. O tempo de tratamento iniciou no dia em que foi realizada a aquisição dos morangos e seu tratamento. Os morangos foram pesados e separados em embalagens de polietileno, cada uma com aproximadamente 100 gramas de morango. O armazenamento foi feito em câmara climática tipo B.O.D. (demanda bioquímica de oxigênio) que operava com temperatura de 5±1 °C.

As análises escolhidas para acompanhamento da qualidade dos morangos foram análises da condição físico-química e microbiológica das amostras.

3. 4. Análises microbiológicas

Para realização das análises microbiológicas foram pesados 10 gramas de cada amostra de morango e maceradas em 90 mL de água peptonada 0,1% (p/v) esterilizada. A partir dessa solução, que correspondeu à diluição de 10^{-1} , obteve-se as diluições seriadas de solução salina 0,85% de NaCl. Essas diluições foram utilizadas para fazer as análises microbiológicas e consistiam em diluições de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} .

Ambos as categorias de microrganismos avaliadas utilizaram as placas de Petrifilm™ (3M Microbiology, St. Paul, MN, USA) para inoculação e contagem. Os resultados foram representados em Unidade Formadora de Colônia por grama (UFC g⁻¹), e depois foi feito o log desses dados.

3. 4. 1. Aeróbios Mesófilos

Usou-se as placas Petrifilm™ AC para contagem de Aeróbios Mesófilos, com soluções nas diluições de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . O preparo e incubação das placas seguiu o Método Oficial AOAC® 990.12 – Contagem de Aeróbios em Placas de Alimentos, Método para Filme Seco Reidratável (Petrifilm™ Contagem de Aeróbios em Placas), com incubação por 48h ± 3h a 35°C ± 1°C (Association of Official Analytical Chemists - AOAC, 2002).

3. 4. 2. Bolores e Leveduras

Usou-se as placas Petrifilm™ YM para contagem de Bolores e Leveduras, com soluções nas diluições de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . O preparo e incubação das placas seguiu o Método Oficial AOAC® 997.02 – Contagem de Bolores e Leveduras em Alimentos, Método para Filme Seco Reidratável (Método Petrifilm™), com incubação entre 20°C e 25°C (AOAC, 2002) por 3 dias (3M, 2018).

3. 5. Parâmetros físico-químicos avaliados

3. 5. 1. Perda de massa

A perda de massa fresca foi calculada de acordo com a Equação 1. O resultado em porcentagem foi encontrado pela diferença entre a massa inicial, no dia 0, e a massa final, no dia 3, 6 ou 9 de armazenamento.

$$\text{Perda de massa fresca (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

3. 5. 2. pH

O pH foi medido com um potenciômetro da marca Digimed modelo DM-21. A solução usada consistia em 100 mL de água destilada com aproximadamente 10 gramas da amostra de morangos e que foram triturados e depois homogeneizados na água destilada.

3. 5. 3. Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais foram calculados em °Brix pelo refratômetro digital da marca Atago modelo 1T. Uma pequena amostra foi colocada no aparelho e para cada uma foram feitas duas medições e tirada a média dos valores.

3. 5. 4. Acidez total titulável

A acidez total titulável calculou a porcentagem de ácido cítrico das amostras por meio da metodologia apresentada pelo Instituto Adolfo Lutz - IAL (2008). Utilizou-se solução de 100 mL de água destilada com aproximadamente 10 gramas da amostra de morangos triturada e homogeneizada. A titulação foi realizada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N padronizada para o ponto de viragem no pH 8,2.

3. 5. 5. Relação SST/ATT

Com base nesses valores, foi feito o cálculo da relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT), o Ratio, que indica o grau de maturação do produto (IAL, 2008).

3. 5. 6. Cor

Os parâmetros de cor analisados foram a tonalidade, saturação da cor ou croma e a diferença de cor. Foi utilizado o colorímetro da marca HunterLab modelo ColorQuest® XE. As amostras de morangos eram trituradas e medidas duas vezes pelo aparelho, tirando a média dos valores.

As medições foram feitas de acordo com a escala CIE L*a*b, em que (L) é a luminosidade, (a) e (b) são dimensões de cromaticidade, sendo que (a) mede vermelho quando positivo e verde quando negativo, e (b) mede amarelo quando positivo e azul quando negativo (HUNTERLAB, 2008). Com base nesses indicadores, tem-se que a saturação de cor (C) é dada pela Equação 2, a tonalidade (h°) é dada pela Equação 3 e a diferença de cor é dada pela Equação 4 (CIE, 1971).

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

$$h^{\circ} = \arctan\left(\frac{b^2}{a^2}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

3. 6. Delineamento experimental

Foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x4, sendo cinco tratamentos e quatro períodos de armazenamento (dias 0, 3, 6 e 9), com três repetições. Realizaram-se as análises de variância e de regressão. Foi utilizado o StatPlus versão 5.0 na análise de variância e o software SigmaPlot v. 10.0 para a obter as equações de regressão e plotagem dos gráficos. Na análise de variância, quando houve diferença significativa foi aplicado o teste de média de Tuckey com 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análises microbiológicas

Verificou-se diferença significativa ($p < 0,01$) de acordo com a análise de variância, quando se analisou os tratamentos, os períodos de armazenamento e a interação entre tratamento e período de armazenamento para a contagem de aeróbios mesófilos. Na Tabela 1, são apresentadas as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação para a contagem de aeróbios mesófilos em morangos tratados com gás ozônio.

A contagem de aeróbios mesófilos aumentou durante o armazenamento, sendo maior que a contagem inicial, mesmo com a aplicação de ozônio gasoso. Esse fato só não ocorreu com a aplicação de 13 mg L^{-1} , que apresentou redução no valor, com diferença de $0,77 \text{ log UFC g}^{-1}$ ao final do armazenamento, em relação a contagem inicial. Esse tratamento iniciou o experimento com contagem de aeróbios mesófilos próxima ao da testemunha, mas no nono dia de armazenamento, apresentava diferença de $1,62 \text{ log UFC g}^{-1}$. Esse comportamento pode ser observado na Figura 2. A maior variação de valor na contagem de aeróbios durante o armazenamento foi entre a testemunha e o tratamento com 29 mg L^{-1} , com diferença média de $2,21 \text{ log UFC g}^{-1}$.

O uso de ozônio já se mostrou uma técnica interessante para o controle de aeróbios mesófilos em trabalhos como o de Alexandre, Brandão e Silva (2012), que obtiveram redução média de $1,21 \pm 0,33$ ciclos log em morangos lavados com água ozonizada com concentração de $0,3 \text{ ppm}$. Ferreira *et al.* (2017) encontrou redução de até $2,66$ ciclos log em morangos imersos em água ozonizada quando comparado a morangos imersos em água não ozonizada com diferentes pHs. Smilanick, Crisosto e Mlikota (1999) atingiram redução de $92,3\%$ na população de aeróbios mesófilos em morangos que foram imersos por dois minutos em água ozonizada com concentração de $4 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$.

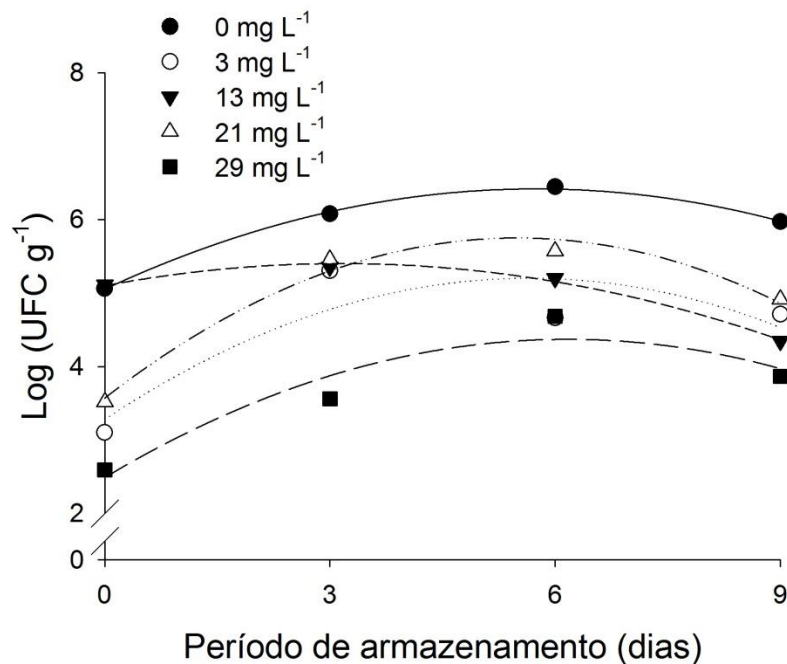


Figura 2 - Contagem de aeróbios mesófilos log (UFC g⁻¹) em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tabela 1 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R²) referentes à contagem de aeróbios mesófilos em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Equação de Regressão	R ²
0 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 5,05 + 0,48X - 0,04X^2$	0,99
3 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 3,28 + 0,68X - 0,06X^2$	0,76
13 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 5,1 + 0,19X - 0,03X^2$	0,99
21 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 3,57 + 0,79X - 0,07X^2$	0,97
29 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 2,49 + 0,61X - 0,05X^2$	0,90

Para a contagem de bolores e leveduras, foi verificada diferença significativa ($p < 0,01$) quando se analisou os tratamentos e os períodos de armazenamento isoladamente e a interação entre tratamento e período de armazenamento.

Todos os tratamentos apresentaram acréscimo na contagem de bolores e leveduras ao final do período de armazenamento. O aumento mais pronunciado ocorreu nos frutos submetidos a concentração do ozônio de 13 mg L⁻¹ e o menos pronunciado referente a concentração de 3 mg L⁻¹, com elevação de 1,44 e 0,83 log UFC g⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar que com a concentração de 29 mg L⁻¹, a

quantidade de bolores e leveduras contabilizadas durante o armazenamento foi sempre a menor entre os tratamentos avaliados. Isso pode ser analisado pela Figura 2. Na Tabela 3, são apresentadas as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação para a contagem de bolores e leveduras em morangos tratados com gás ozônio.

Allende *et al.* (2007) encontrou redução de quase 1 ciclo log depois de 5 dias de armazenamento, no crescimento de bolores e leveduras quando era usado gás ozônio em combinação com atmosferas enriquecidas com oxigênio e dióxido de carbono. Sendo que a ação conjunta do ozônio e oxigênio apresentou a menor quantidade de unidades formadoras de colônias durante os 12 dias de armazenamento. Foi observada por Wang, Feng e Luo (2004) uma redução de 1,3 ciclos log em morangos minimamente processados que foram ozonizados por 60 minutos com gás na concentração de 50 mg L^{-1} e fluxo de 15 L min^{-1} . Com ozonização por 20 minutos, Morais *et al.* (2015) foi capaz de reduzir a quantidade de bolores e leveduras aumentando a vida de prateleira. Smilanick, Crisosto e Mlikota (1999) conseguiu reduzir 91% da população de bolores e leveduras em morangos que foram imersos por dois minutos em água ozonizada com concentração de $4 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$.

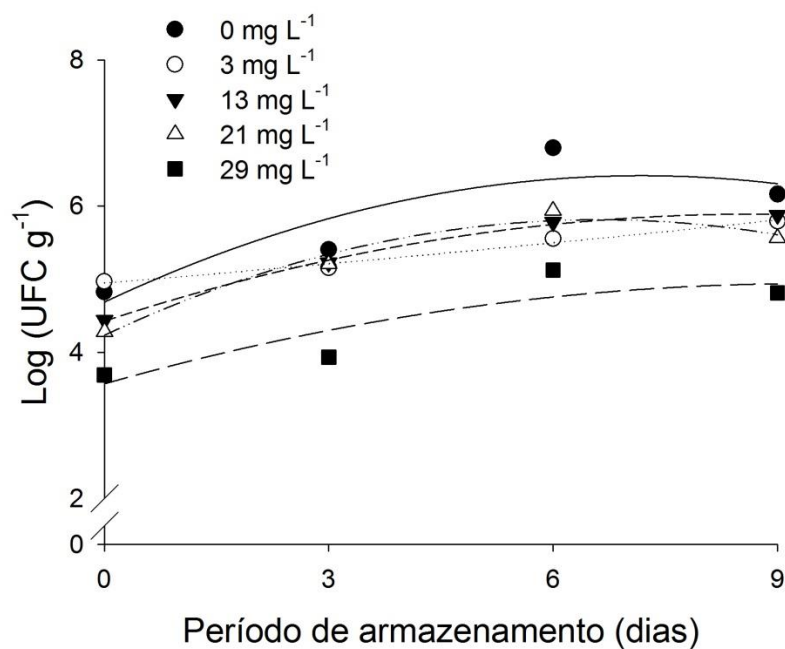


Figura 3 - Contagem de bolores e leveduras $\log (\text{UFC g}^{-1})$ em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a $5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Tabela 2 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à contagem de bolores e leveduras em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Equação de Regressão	R^2
0 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 4,69 + 0,48X - 0,03X^2$	0,81
3 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 4,95 + 0,08X + 0,002X^2$	0,98
13 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 4,42 + 0,34X - 0,02X^2$	0,99
21 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 4,23 + 0,48X - 0,04X^2$	0,97
29 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 3,57 + 0,29X - 0,02X^2$	0,78

O uso de ozônio gasoso também já foi usado para redução de *Salmonella* e *Escherichia coli* em morango e framboesa. No caso do morango foi possível reduzir 2,6 e 2,9 ciclos log para esses patógenos respectivamente, com ozonização por 64 minutos seguido de ozonização pressurizada também por 64 minutos. Na ozonização contínua, foi possível reduzir de 0,1 a 0,9 ciclos log de *Salmonella* e de 0,3 a 1,8 ciclos log para *E. coli* (BIALKA; DEMIRCI, 2007).

4. 2. Parâmetros físico-químicos avaliados

Para a perda de massa, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre tratamentos e na interação entre tratamento e período de armazenamento. Porém, foi verificada diferença significativa ($p < 0,01$) para a análise dos períodos de armazenamento isoladamente. A perda de massa fresca aumentou com o tempo de armazenamento, sendo que ao final do armazenamento atingiu valor de 0,57%. O desempenho dessa característica pode ser observado na Figura 4, assim como a equação de regressão e o coeficiente de determinação.

Glowacz, Colgan e Rees (2015) relatam que a maioria dos trabalhos existentes mostra que a perda de massa não tem relação com a aplicação de ozônio a menos que seja usada uma concentração alta demais, prejudicando a epiderme do produto. Entretanto, há trabalhos que relatam que o uso de ozônio reduziu a perda de massa em morango quando comparado aos frutos não ozonizados, só que a diferença não chega a ser estatisticamente significativa (CAJAMARCA *et al.*, 2017; NADAS; OLMO; GARCIA, 2003). Em Ferreira *et al.* (2017), a perda de massa dos morangos imersos em água ozonizada foi significativamente menor do que a perda em frutas de tratamentos não ozonizados. Os valores encontrados aqui foram menores do que os relatados por outros autores (FERREIRA *et al.*, 2017;

CAJAMARCA *et al.*, 2017; NADAS; OLMO; GARCIA, 2003), mas mais semelhantes ao encontrados por Bender *et al.* (2010) para morangos armazenados com atmosfera modificada.

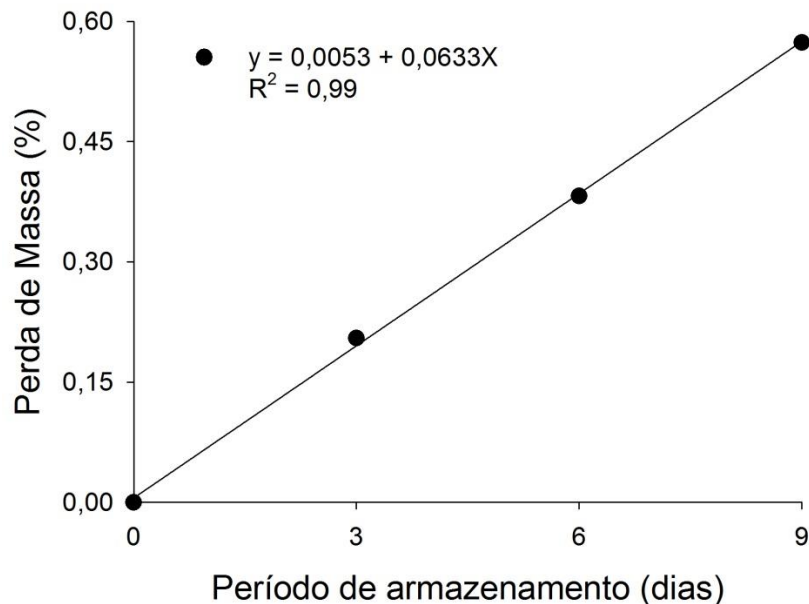


Figura 4 - Curva de regressão referente à perda de massa fresca (%) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para a interação entre tratamento e período de armazenamento para a variável pH. Para o fator tratamento isoladamente houve diferença significativa ($p < 0,05$), assim como para o período de armazenamento ($p < 0,01$). Apesar de ter sido verificado diferença significativa, durante todo o período de armazenamento, o pH praticamente não variou. Isso pode ser observado na Figura 5. Na Tabela 3 é possível perceber a diferença que houve entre os tratamentos, sendo que a testemunha (controle) foi a que apresentou o maior valor de pH com $2,93 \pm 0,11$. O tratamento em que foi aplicado 3 mg L^{-1} apresentou menor valor de pH com $2,80 \pm 0,06$.

Alexandre, Brandão e Silva (2012) também encontraram pouca variação para o pH. Não obstante, Cajamarca *et al.* (2017), Wang, Feng e Luo (2004) e Morais *et al.* (2015) obtiveram valores crescentes durante o armazenamento. O valor aqui obtido foi menor do que o relatado por diversos trabalhos que iam de 3,2 a 4,46 (ALEXANDRE; BRANDÃO; SILVA, 2012; FERREIRA *et al.*, 2017; CAJAMARCA *et al.*, 2017; MORAIS *et al.*, 2015).

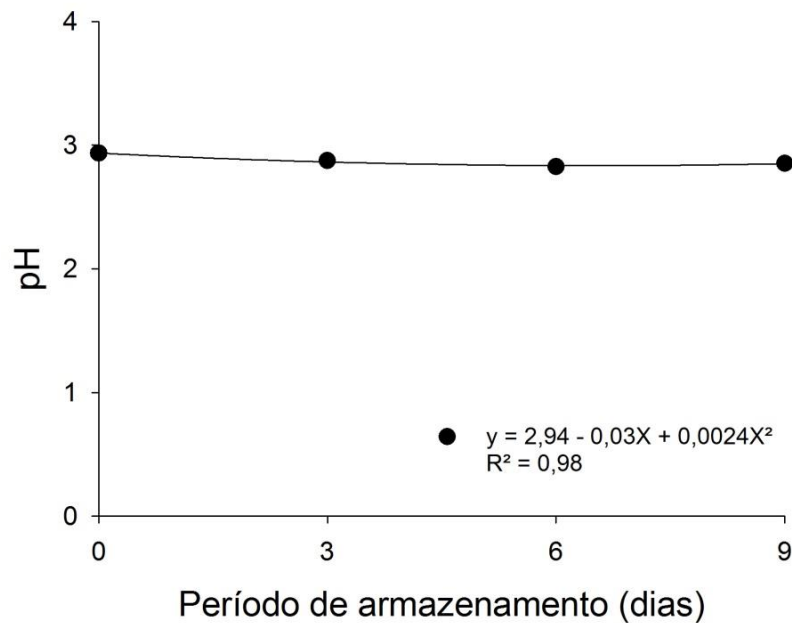


Figura 5 - Curva de regressão referente ao pH em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão referentes ao pH e a sólidos solúveis totais (SST, °Brix) de morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	pH	Sólidos Solúveis Totais
0 mg L ⁻¹	2,93 ± 0,11 a	8,31 ± 0,53 a
3 mg L ⁻¹	2,80 ± 0,06 b	7,86 ± 0,06 a
13 mg L ⁻¹	2,86 ± 0,07 ab	7,77 ± 0,97 ab
21 mg L ⁻¹	2,87 ± 0,09 ab	7,74 ± 0,45 a
29 mg L ⁻¹	2,89 ± 0,08 ab	7,57 ± 0,59 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os sólidos solúveis totais (SST) apresentaram diferença significativa ($p < 0,01$) apenas quando se comparou os tratamentos isoladamente. Não foi verificada diferença significativa para o período de armazenamento isoladamente e nem para a interação entre período de armazenamento e tratamentos. Pela Tabela 3, percebe-se que o tratamento de 29 mg L⁻¹ apresentou o menor valor de sólidos solúveis totais e o maior foi na testemunha, com 7,57±0,59 °Brix e 8,31 ± 0,53 °Brix, respectivamente.

O valor encontrado de SST foi maior que o valor relatado por Antunes *et al.* (2010) para a quantidade de sólidos solúveis para cultivar plantada no Rio Grande do Sul. Inexpressiva variação na quantidade de sólidos solúveis também foi relatada por Cajamarca *et al.* (2017). Minas *et al.* (2012) relatam redução de sólidos solúveis em frutos de kiwi tratados com ozônio, algo que também ocorre aqui. Diversos estudos não encontraram relação entre a aplicação de ozônio e redução no teor de °Brix (GLOWACZ; COLGAN; REES, 2015).

A acidez total titulável (ATT) variou significativamente ($p < 0,01$) em decorrência da interação entre período de armazenamento e tratamento com ozônio. Em geral, os menores valores de acidez total titulável (% de ácido cítrico) foram encontrados no terceiro ou sexto dia de armazenamento. Isso apenas não ocorreu com a concentração de 3 mg L^{-1} , em que o menor teor foi obtido no nono dia de armazenamento. A variação entre tratamentos para os valores de acidez titulável foram maiores no início do armazenamento do que no final, com diferenças de 0,19 e 0,08% de ácido cítrico, respectivamente. O comportamento da acidez total titulável pode ser observado na Figura 6, e as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação podem ser encontradas na Tabela 4.

Para Nadas, Olmo e Garcia (2003), a acidez titulável reduziu em morangos tratados com gás ozônio. Já para Cajamarca *et al.* (2017), houve acréscimo no valor durante o período de armazenamento para morangos ozonizados por 60 minutos com 1000 ppm e por 30 minutos com 2000 ppm. Em Ferreira *et al.* (2017), o uso de ozônio tornou a variação da acidez mais acentuada do que em frutas não tratadas com ozônio. Os valores encontrados nesse trabalho foram maiores do que os relatados por esses autores.

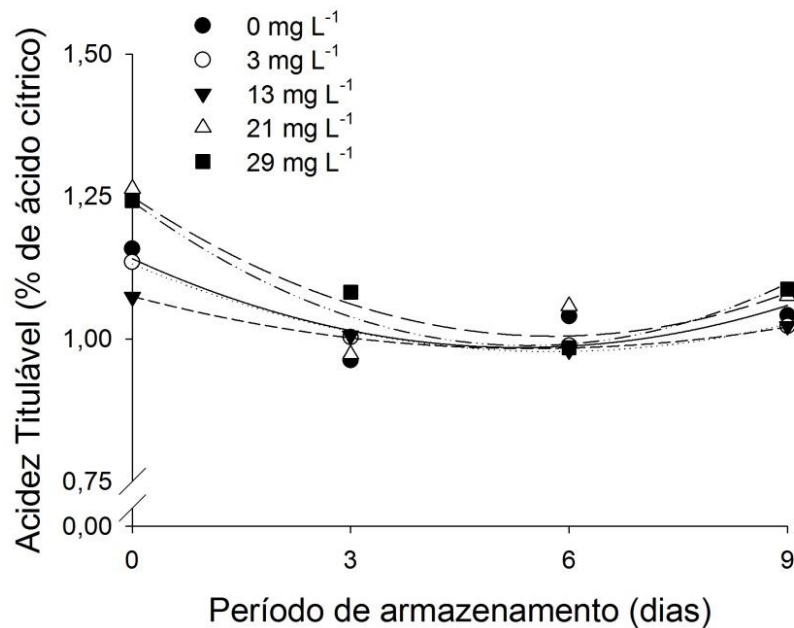


Figura 6 – Valores de acidez total titulável (% ácido cítrico) em morangos ozonizados em diferentes concentrações em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

Tabela 4 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à acidez total titulável em morangos submetidos a diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Equação de Regressão	R^2
0 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 1,14 - 0,06X + 0,006X^2$	0,68
3 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 1,13 - 0,05X + 0,005X^2$	0,98
13 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 1,07 - 0,03X + 0,003X^2$	0,99
21 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 1,24 - 0,09X + 0,009X^2$	0,78
29 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 1,25 - 0,08X + 0,007X^2$	0,97

A relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (ratio, SST/ATT) apresentou valores significativos ($p < 0,01$) para os valores dos tratamentos, do tempo e da interação entre os tratamentos e o tempo. Houve inexpressiva variação nos valores de SST/AT durante o armazenamento, sendo que isso foi maior no dia 3 e menor no dia 6 de armazenamento, com variação de 2,52 e 0,42, respectivamente. Na Figura 7 e na Tabela 5 encontram-se as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação para a relação SST/ATT nos morangos expostos ao ozônio durante o armazenamento.

A relação SST/ATT encontrado por Ferreira *et al.* (2017) foi maior nos morangos ozonizados ficando em uma faixa entre 6,62 e 7,64 e Cajamarca *et al.* (2017) teve valores entre 7,65 e 9,64. Considerando o valor ideal de 8,75 para a relação SST/ATT proposto por Kader (1999), o maior valor obtido com a testemunha no terceiro dia ainda não atingiu esse parâmetro. Isso pode ser devido aos valores maiores encontrados para a acidez titulável.

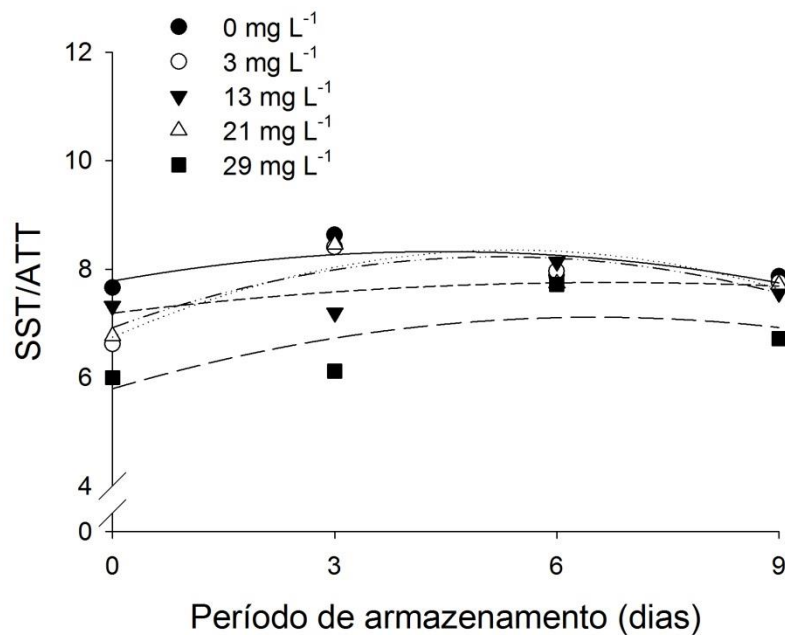


Figura 7 – Relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT em morangos ozonizados em diferentes concentrações em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

Tabela 5 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R²) referentes à relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT) em morangos submetidos a diferentes concentrações do gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Equação de Regressão	R ²
0 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 7,78 + 0,25X - 0,03X^2$	0,45
3 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 6,75 + 0,6X - 0,06X^2$	0,82
13 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 7,19 + 0,17X - 0,01X^2$	0,36
21 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 6,92 + 0,5X - 0,05X^2$	0,66
29 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 5,79 + 0,4X - 0,03X^2$	0,55

Glowacz, Colgan e Rees (2015) compilaram diferentes trabalhos que avaliaram a resposta de coloração de diferentes frutas e hortaliças tratadas com ozônio, os resultados variam com a forma de aplicação e exposição podendo ter efeitos positivos, negativos ou nenhum efeito. Aday e Caner (2014) relata que morangos imersos em água com concentração de $0,075 \text{ mg L}^{-1}$ por cinco minutos apresentaram maiores valores de L^* pelo efeito descolorante do ozônio. Isso também foi observado em suco de morango ozonizado por 10 minutos com concentração de 1,6 a 7,8% p/p, sendo que as maiores concentrações deixaram o suco mais claro, enquanto que os valores de a^* e b^* diminuíram (TIWARI *et al.*, 2009).

Para saturação de cor não houve diferença significativa ($p>0,05$) quando se analisou os tratamentos isoladamente e a interação entre os tratamentos e os períodos de armazenamento. Porém, verificou-se diferença significativa ($p<0,01$) no fator período de armazenamento. A saturação de cor apresentou decréscimo ao final do armazenamento, com elevação no dia 3. O modo como a saturação de cor agiu é apresentado na Figura 8 junto com sua equação de regressão e o coeficiente de determinação.

A variação entre valores de saturação foi menor que a encontrada por Cajamarca *et al.* (2017), 7,1 e 15,37 respectivamente. Nadas, Olmo e Garcia (2003) relataram valores menores no croma de morangos ozonizados com gás de concentração $1,5 \mu\text{L L}^{-1}$ do que os não ozonizados. Isso difere do que foi encontrado por esse trabalho com a menor saturação para o tratamento sem ozônio.

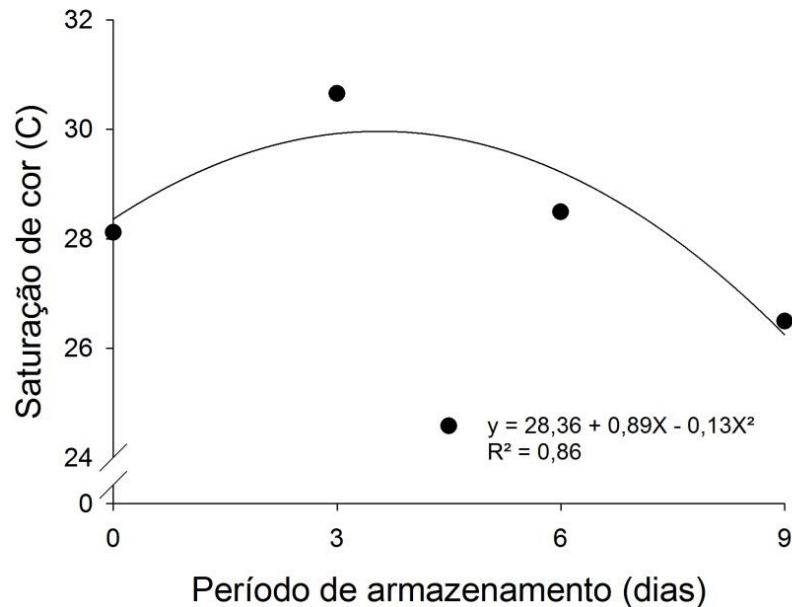


Figura 8 – Curva de regressão referente à saturação de cor (C) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

No que se refere a tonalidade de cor (h), houve diferença significativa ($p < 0,01$) quando se analisou os tratamentos e os períodos de armazenamento isoladamente. Porém não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para a interação entre tratamento e período de armazenamento. A tonalidade apresentou tendência de redução até o dia 6 e com posterior acréscimo. Os valores permaneceram entre 24 e 22. Na Figura 9 pode-se observar a equação de regressão e o coeficiente de determinação para tonalidade de cor. Na Tabela 6, é possível perceber que mesmo com baixa variação, houve diferença entre os valores dos tratamentos, sendo que o maior valor de tonalidade é referente a concentração de 29 mg L^{-1} e o menor valor foi obtido nos morangos não ozonizados, sendo equivalentes a $23,96 \pm 1,07$ e $22,13 \pm 1,01$, respectivamente.

A tonalidade de cor foi menor que a encontrada por Cajamarca *et al.* (2017). Nesse caso, menor valor de tonalidade de cor implica em frutos mais avermelhados. Nadas, Olmo e Garcia (2003) encontraram valores de tonalidade maiores nos tratamentos ozonizados do que os não tratados quando eles eram de segunda estação, na primeira estação ocorreu o inverso.

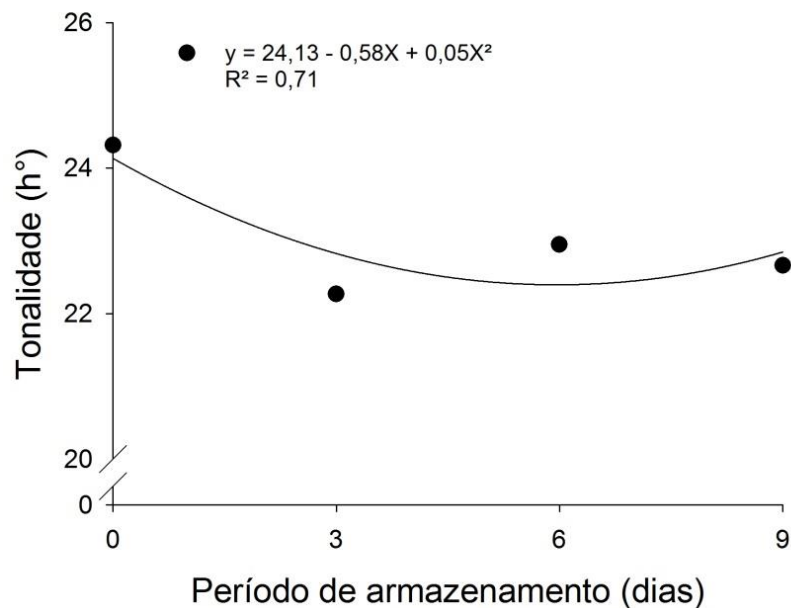


Figura 9 - Curva de regressão referente à tonalidade (h°) em morangos em função do período de armazenamento (dias) a 5 °C.

Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão referentes à tonalidade de cor (h°) de morangos submetidos a diferentes concentrações do gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Tonalidade (h°)
0 mg L ⁻¹	22,13 ± 1,01 c
3 mg L ⁻¹	23,13 ± 1,26 abc
13 mg L ⁻¹	23,33 ± 0,83 ab
21 mg L ⁻¹	22,71 ± 1,41 bc
29 mg L ⁻¹	23,96 ± 1,07 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A diferença de cor apresentou variação significativa ($p < 0,01$) em decorrência da interação entre tratamentos e o período de armazenamento. Todos os tratamentos se comportaram da mesma forma para o quesito diferença de cor. Houve um aumento com pico no sexto dia, depois havendo um decréscimo. No final do armazenamento, o menor valor foi o da testemunha com 11,47, enquanto os outros permaneceram próximos a 14. O desempenho dos tratamentos pode ser observado na Figura 10 e as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação estão na Tabela 7.

Para Alexandre, Brandão e Silva (2012) o tratamento com água ozonizada reteve a cor fazendo com que a diferença na coloração fosse menor, não apresentando diferença durante o armazenamento refrigerado. Cajamarca *et al.* (2017) notaram crescimento acentuado na diferença e depois os valores se estabilizaram, sendo que frutos não ozonizados apresentaram maior diferença durante o armazenamento. Já Ferreira *et al.* (2017) obtiveram diferença de cor maior com a ozonização.

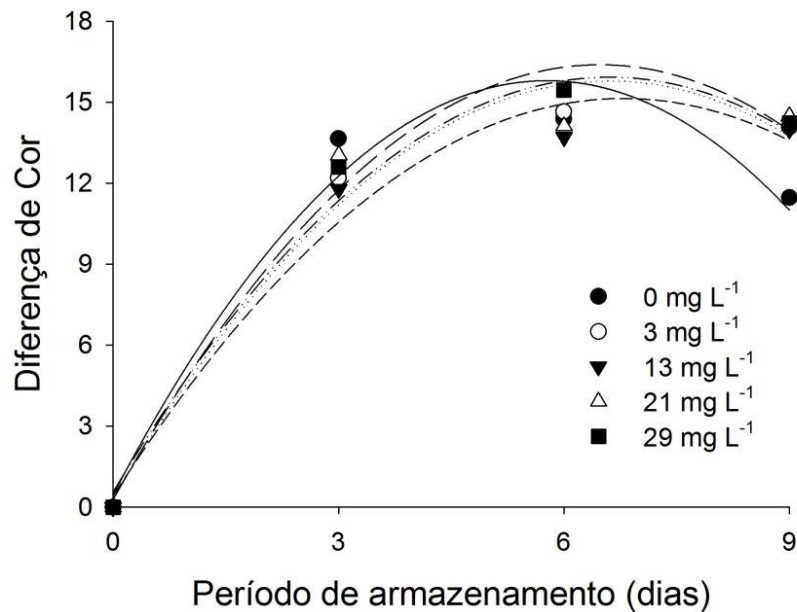


Figura 10 - Valores de diferença de cor em morangos em função do período de armazenamento (dias) de frutas com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenadas a 5 °C.

Tabela 7 - Equações de regressão ajustadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2) referentes à diferença de cor em morangos com diferentes concentrações de aplicação de gás ozônio e armazenados a 5 °C.

Tratamento	Equação de Regressão	R^2
0 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 0,46 + 5,31X - 0,46X^2$	0,96
3 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 0,33 + 4,68X - 0,35X^2$	0,98
13 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 0,41 + 4,34X - 0,32X^2$	0,97
21 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 0,56 + 4,65X - 0,35X^2$	0,95
29 mg L ⁻¹	$\hat{y} = 0,28 + 4,97X - 0,38X^2$	0,98

5. CONCLUSÕES

A partir desses resultados concluiu-se que a utilização de gás ozônio pode ser considerada uma alternativa para a manutenção da qualidade a pós-colheita de morango. Seu uso foi capaz de reduzir a contagem de microrganismos durante o armazenamento. Em relação à qualidade físico-química dos morangos, ozônio manteve as características de perda de massa fresca, acidez total titulável e saturação de cor, causou leve redução nos valores de pH, sólidos solúveis totais, relação SST/ATT e diferença de cor e aumentou a tonalidade de cor das frutas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M. **Petrifilm: Placa 3M™ Petrifilm™ para Contagem de Bolors e Leveduras.** Detalhes. 3M do Brasil Ltda. Microbiologia. St Paul, MN 55144-1000. 2018. Disponível em: <https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~/Placa-3M-Petrifilm-para-Contagem-de-Bolors-e-Leveduras-6417-1000-por-caixa/?N=5002385+3293190464&preselect=8711414+3293786499&rt=rud>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ADAY, M. S.; CANER, C. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life. **LWT-Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 344-351, 2014.

AKBAS, 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, n. 2, p. 386-391, 2008.

ALLEN, B.; WU, J.; DOAN, H. Inactivation of fungi associated with barley grain by gaseous ozone. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 38, n. 5, p. 617-630, 2003.

ALLENDE, A.; MARÍN, A. BUENDÍA, B.; TOMÁS-BARBERÁN, F.; GIL, M. I. Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O³, superatmospheric O² and high CO²) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, n. 3, p. 201-211, 2007.

ALEXANDRE, E. M. C.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 417-426, 2012.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION. AWWA. **Ozone in water treatment: application and engineering.** CRC press, 574 p.,1991.

ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; DOS SANTOS, A. M. A cultura do morango. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2011. (Coleção Plantar, 68) 52 p.

ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 13. 591 p.

ANTUNES, L. E. C.; RISTOW, N. C.; KROLOW, A. C. R.; CARPENEDO, S.; REISSER JÚNIOR, C. Yield and quality of strawberry cultivars. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 222-226, 2010.

ANTUNES, L. E. C.; VIGNOLO, G.; GONÇALVES, M. Anuário HF 2013. **Campo e Negócios**. 2013. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/953720/1/AnuarioHF2013.pdf>>. Acesso: 02 set. 2018.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official methods of analysis**. 17^a ed. Arlington: 2000p. 2002.

BASSON, C. E.; GROENEWALD, J.-H.; KOSSMANN, C. C.; BAUER, R. Sugar and acid-related quality attributes and enzyme activities in strawberry fruits: Invertase is the main sucrose hydrolysing enzyme. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 1156-1162, 2010.

BENDER, R. J.; PEZZI, E.; DE LEÃO, M. L.; CASALI, M. E. Armazenagem de morangos cv. Camarosa e cv. Verão em atmosfera modificada. **Acta scientiarum. Agronomy**, Maringá. Vol. 32, n. 2, p. 285-292, 2010.

BIALKA, K. L.; DEMIRCI, A. Utilization of gaseous ozone for the decontamination of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* on raspberries and strawberries. **Journal of Food Protection**, v. 70, n. 5, p. 1093-1098, 2007.

BORGES, L. R. **Análise de qualidade microbiológica (bolors e leveduras) em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) e identificação dos fungos potencialmente micotoxigênicos**. 1999. 32 p. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BOTELHO DA SILVA, S.; LUVIELMO, M. de M.; GEYER, M. C.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, 2011.

BRASSARD, J.; GAGNÉ, M.-J.; GÉNÉREUX, M.; CÔTÉ, C. Detection of human foodborne and zoonotic viruses on irrigated, field-grown strawberries. **Applied and Environmental Microbiology**. 2012.

CAJAMARCA, S. M. N.; ALENCAR, E. R. de; SANTANA, A. P.; LEÃO, T. P. FERREIRA, W. F. de S. Efeito Do Ozônio Na Qualidade Pós-Colheita De Morangos Produzidos Em Sistema Orgânico. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, n. 2, 2017.

CAMPOS, C. A.; RODRÍGUEZ, O.; LOSADA, V.; AUBOURG, S. P.; BARROS-VELÁZQUEZ, J. Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*). **International Journal of Food Microbiology**, v. 103, n. 2, p. 121-130, 2005.

CARVALHO, S. F. de. **Produção, qualidade e conservação pós-colheita de frutas de diferentes cultivares de morangueiro nas condições edafoclimáticas de Pelotas-RS**. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Fruticultura de Clima Temperado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

CASTRO, R. L. Melhoramento Genético do Morangueiro: Avanços no Brasil. 2º Simpósio Nacional do Morango. 1º Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas. **Embrapa Clima Temperado - Documento 124**. p. 21-36. 2004.

CAVALCANTE, D. A.; LEITE JÚNIOR, B. R. DE C.; TRIBST, A. A. L.; CRISTIANINI, M. Uso de ozônio gasoso na sanitização de câmaras frigoríficas. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 2, p. 121-128, 2014.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. CDC. Hepatitis A Associated with Consumption of Frozen Strawberries – Michigan, March 1997. **MMWR. Morbidity and mortality weekly report**, v. 46, n. 13, p. 288-295, 1997.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. CDC. **2016 – Multistate outbreak of hepatitis A linked to frozen strawberries (Final Update)**. Atlanta, GA, 2016. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/hepatitis/outbreaks/2016/hav-strawberries.htm>>. Acesso em: 13 out. 2018.

COELHO, C. C. de S.; FREITAS-SILVA, O. CAMPOS, R. DA S.; BEZERRA, V. S.; CABRAL, L. M. C. Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de

frutas e hortaliças: Uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 369-375, 2015.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. CIE. Colorimetry. 3 ed. **CIE, Paris**, 1971. p. 15-21. 82 p.

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O. do; LAJOLO, F. M. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 167-173, 2003.

DE ASSIS, M. Produção de Matrizes e Mudas de Morangueiro no Brasil. 2º Simpósio Nacional do Morango. 1º Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas. **Embrapa Clima Temperado - Documento 124**. p. 45-50. 2004.

DEL POZO-INSFRAN, D.; DUNCAN, C. E.; YU, K. C.; TALCOTT, S. T. Polyphenolics, ascorbic acid, and soluble solids concentrations of strawberry cultivars and selections grown in a winter annual hill production system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 1, p. 89-96, 2006.

FAGHERAZZI, A. F.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; MOLINA, A. R.; GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; BARUZZI, G.; RUFATO, L. Strawberry production progress in Brazil. **Acta Horticulturae**. 2017. p. 937-940.

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

FLORENTIN, A.; HAUTEMANIÈRE, A.; HARTEMANN, P. Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 214, n. 6, p. 461-469, 2011.

FLORES CANTILLANO, R. F. Manuseio pós-colheita. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 507-562.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO, **Food and Agricultural commodities**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso: 01 set. 2018.

GALEGÁRIO, F. F.; AMARO, M.; WEIHMANN, C. R.; SANHUEZA, R. M. V.; FREIRE, J. de M.; AMARANTE, C. V. T. do; DOS SANTOS, H. P.; BENDER, R. J.; PALOMBINI, M. C.; PROTAS, J. F. da S.; COUTINHO, E. F. Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do Nordeste. Colheita e pós-colheita. **Sistema de Produção 6**. Versão Eletrônica. Embrapa uva e vinho, 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/colheita.htm>>. Acesso em: 22 set. 2018.

GARCÍA, J. M.; MEDINA, R. J.; OLÍAS, J. M. Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 6, p. 1037-1041, 1998.

GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, v. 28, n. 1, p. 9-19, 2012.

GLOWACZ, M.; COLGAN, R.; REES, D. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 4, p. 662-671, 2015.

GOMES, K. B. P.; OLIVEIRA, G. H. H.; CARVALHO, J. P.; CAVALCANTE, D. F. da S.; VILLA-REAL, M. E. Diagnóstico da cadeia produtiva do morango dos agricultores familiares do Distrito Federal. **Revista Eixo**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 9-14, dez., 2013.

GONÇALVES, M. A.; PICOLOTTO, L.; COCCO, C.; VIGNOLO, G. K.; ANTUNES, L. E. C. Crescimento e desenvolvimento. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 47-66.

GOPAL, K.; TRIPATHY, S. S.; BERSILLON, J. L.; DUBEY, S. P. Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 140, n. 1-2, p. 1-6, 2007.

- GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J. A.; SAUPE, A. **Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications.** John Wiley & Sons, 361 p., 2009.
- GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 453-460, 2004.
- HENZ, G. P.; ARAÚJO, T. M.; DE FÁTIMA PEREIRA, S. **Produção de morango no Distrito Federal.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009.
- HENZ, G. P. Desafios enfrentados por agricultores familiares na produção de morango no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 260-265, 2010.
- HUNTERLAB. **ColorQuest® XE User's Manual.** Virginia. p. 10-2 -10-5. 2008.
- IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos.** Ministério da Saúde, São Paulo, p. 1020, 2008.
- KADER, A. A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. In: **International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage 485.** 1999. p. 203-208.
- KADER, A. A. Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. In: DALE, A.; LUBY, J. J. (Ed.). **The strawberry into the 21st.** Timber press, Portland, 1991, p. 145-152.
- KEUTGEN, A. J.; NOGA, G.; PAWELZIK, E. Cultivar-specific impairment of strawberry growth, photosynthesis, carbohydrate and nitrogen accumulation by ozone. **Environmental and Experimental Botany**, v. 53, n. 3, p. 271-280, 2005.
- KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 10-18, 2008.
- KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J.-G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.

KIM, J.-G.; YOUSEF, A. E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, v. 62, n. 9, p. 1071-1087, 1999.

KIM, J.-G.; YOUSEF, A. E.; KHADRE, M. A. Ozone and its current and future application in the food industry. In: TAYLOR, S. L. (Ed.). **Advances in Food and Nutrition Research**. Lincoln, Nebraska, 2003.

LANITA, C. S.; SILVA, S. B. Uso de ozônio em câmara industrial para controle de bolores e leveduras durante a maturação de queijo tipo parmesão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 3, p. 182-189, 2008.

LINDOW, A. B. de M. **El pH de los alimentos** – Importancia en la elaboración de conservas. Disponível em: <<https://gastronomiasolar.com/?s=ph+de+los+alimentos>>. Acesso em: 01 dez. 2018.

MADAIL, J. C. M. Panorama econômico. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 15-34.

MATTOS, M. L. T.; FLORES CANTILLANO, R. F. Segurança alimentar e ambiental. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 537-562.

MINAS, I. S.; TANOU, G.; BELGHAZI, M.; JOB, D.; MANGANARIS, G. Physiological and proteomic approaches to address the active role of ozone in kiwifruit post-harvest ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 7, p. 2449-2464, 2012.

MONTERO, T. M.; MOLLÁ, E. M.; ESTEBAN, R. M.; LÓPEZ-ANDRÉU, F. J. Quality attributes of strawberry during ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 65, n. 4, p. 239-250, 1996.

MORAIS, M. L.; ALVINHÃO, J. E. O.; FRANCO, D. V.; SILVA, E. de B.; PINTO, N. A. V. D. Application of ozone aiming to keep the quality of strawberries using a low cost reactor. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 559-567, 2015.

MUSTAFA, M. G. Biochemical basis of ozone toxicity. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 9, n. 3, p. 245-265, 1990.

NADAS, A.; OLMO, M.; GARCIA, J. M. Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmospheres. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p. 1798-1802, 2003.

O'DONNELL, C.; TIWARI, B.; CULLEN, P. J.; RICE, R. G. (Ed.). **Ozone in food processing**. John Wiley & Sons, 2012.

OZONE SOLUTIONS. **USDA and FDA Ozone Regulations**. 2014. Disponível em: <<https://www.ozonesolutions.com/info/usda-and-fda-ozone-regulations>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

PAULL, RE. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 3, p. 263-277, 1999.

PÉREZ, A. G.; SANZ, C.; RÍOS, J. J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J. M. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 4, p. 1652-1656, 1999.

PIMENTEL, M. A. G.; RIBEIRO, D. F.; FARONI, L. R. D'A.; RAMOS, G. C. P. VASCONCELOS, C. H. C.; NASCIMENTO, R. L. S. Eficiência do gás ozônio na desinfecção fúngica de grãos de milho armazenados. In: Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves, RS. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; JUNG-MENDAÇOLLI, S. L.; PASSOS, F. A.; SANTOS, R. R. dos. Caracterização botânica de cultivares de morangueiro. **Bragantia**, v. 55, n. 1, p. 29-44, 1996.

SANHUEZA, R. M. V.; HOFFMANN, A.; ANTUNES, L. E. C.; FREIRE, J. de M. Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do Nordeste. Importância da Cultura. **Sistema de Produção 6**. Versão Eletrônica. Embrapa uva e vinho, 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/importancia.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

SILVA, M. C. da. **Avaliação da qualidade microbiológica de alimentos com a utilização de metodologias convencionais e do sistema simplex**. 2002. 87 p. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SIMON, N.; MENEGUZZO, A. CALGARO, A. Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do Nordeste. Doenças causadas por fungos e bactérias. **Sistema de Produção 6**. Versão Eletrônica. Embrapa uva e vinho, 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/doencas.htm>>. Acesso em: 29 set. 2018.

SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C.; MLIKOTA, F. Postharvest use of ozone on fresh fruit. **Perishables Handling Quarterly**, v. 99, p. 10-14, 1999.

STRAND, L. L. **Integrated pest management for strawberries**. 2. ed. California: University of California, Agriculture and Natural Resources Publications, 2008.

TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P. J.; O'DONNELL, C. P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 3, p. 248-255, 2010.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; PATRAS, A.; BRUTON, N.; CULLEN, P. J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1119-1126, 2009.

TULIPANI, S.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Impact of strawberries on human health: insight into marginally discussed bioactive compounds for the Mediterranean diet. **Public Health Nutrition**, v. 12, n. 9A, p. 1656-1662, 2009.

UENO, B.; COSTA, H. Doenças causadas por fungos e bactérias. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 413-480.

VENDRUSCOLO, J. L. S. Processamento de morango e demais pequenas frutas. 2º Simpósio Nacional do Morango. 1º Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas. **Embrapa Clima Temperado - Documento 124**. p. 133-144. 2004.

VIGNOLO, G. K.; PICOLOTTO, L.; GONÇALVES, M. A.; COCCO, C.; ANTUNES, L. E. C. Origem e botânica. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 35-46.

VIZZOTTO, M. Características funcionais. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.). **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 563-572.

WANG, H.; FENG, H.; LUO, Y. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. **Food Research International**, v. 37, n. 10, p. 949-956, 2004.

WU, J.; DOAN, H.; CUENCA, M. A. Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, v. 81, n. 7, p. 1288-1293, 2006.

YANG, B.; KORTESNIEMI, M. Clinical evidence on potential health benefits of berries. **Current Opinion in Food Science**, v. 2, p. 36-42, 2015.