



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

**INFLUÊNCIA DA QUEBRA FOTOCATALÍTICA DO ETILENO
NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS TOMATES CEREJA
(*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*)**

Marielle Correia Nobias

Florianópolis

2019

Marielle Correia Nobias

**INFLUÊNCIA DA QUEBRA FOTOCATALÍTICA DO ETILENO NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS TOMATES CEREJA
(*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina apresentado como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Coorientador: Me. Maria Jaízia dos Santos Alves

Florianópolis

2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida e por ter estado comigo durante toda essa caminhada.

Aos meus pais por estarem do meu lado em todos os momentos, comemorando em dias felizes e dando palavras de ânimo e incentivo nos dias ruins, sem vocês com certeza não estaria onde estou agora.

À minha orientadora Alcilene Rodrigues Monteiro e minha coorientadora Jaízia dos Santos por todo incentivo, paciência e dedicação durante esse trabalho, assim como também durante meu período como bolsista no PROFI.

Ao Leno por toda ajuda prestada e por toda disposição.

Aos colegas que estiveram presentes durante a graduação por toda amizade e ajuda ao longo dessa trajetória.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores por todo conhecimento transmitido.

Muito obrigada!

RESUMO

O tomate é um dos frutos mais consumidos no mundo. Entretanto, por ser um fruto climatérico apresenta um curto período de vida útil devido a elevada produção de etileno e do aumento na taxa respiratória. Técnicas que visam reduzir a produção de etileno e conseqüentemente sua respiração tem sido tema de diversas pesquisas. Assim, a degradação fotocatalítica do etileno surge como uma alternativa para prolongar a vida pós-colheita de tomates cereja. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar o efeito da quebra fotocatalítica do etileno na maturação de tomates cereja, utilizando dióxido de titânio (TiO_2) como catalisador e luz UV-A. Tomates cereja no estágio verde foram acondicionados em câmaras de vidro hermeticamente fechadas, uma das câmaras foi conectada ao reator fotocatalítico por tubulação e a outra foi mantida fechada (controle), ambas foram acondicionadas a $18^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e 85% de UR durante o período de 10 dias. As concentrações de C_2H_4 , CO_2 e O_2 foram monitoradas durante o armazenamento com o auxílio de um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas (GC-MS). Após o processo de quebra fotocatalítica do etileno, os frutos foram acondicionados em embalagens flexíveis e de vidro durante 20 dias a $18^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e 85% de UR. Durante o armazenamento as taxas respiratórias dos frutos foram determinadas a partir da concentração de O_2 e CO_2 e caracterizado quanto aos parâmetros físico-químicos. O processo de degradação fotocatalítica foi efetivo pela ausência de etileno na câmara contendo os frutos ao longo dos 10 dias de tratamento. Por outro lado, no mesmo período os frutos controle apresentaram concentração máxima de etileno de 23,5 nL/g no 8º dia de experimento. Durante o período de armazenamento, os tomates submetidos a quebra fotocatalítica do etileno apresentaram menores concentração de C_2H_4 , CO_2 e O_2 quando comparados aos frutos controle. Em relação as características físico-químicas durante o armazenamento, os tomates tratados apresentaram menor perda de massa, manutenção dos valores de pH e sólidos solúveis totais, o desenvolvimento da cor e a diminuição da firmeza dos frutos foram atrasados devido a redução do etileno contido no meio. O processo de quebra fotocatalítica do etileno se mostrou eficiente na diminuição da produção de etileno mantendo as propriedades físico-químicas dos tomates cereja.

Palavras-chave: tomate cereja, fotocatalise, maturação.

ABSTRACT

Tomato is one of the most consumed fruits in the world. However, due to be a climacteric fruit has high respiratory rate by ethylene production, decreasing their shelf life. This way, several techniques has been used to reduce the ethylene production of climacteric fruits, including the tomatoes to increase the shelf life of fruits and vegetables. Thus, the photocatalytic degradation of ethylene appears as an alternative to prolong the postharvest of cherry tomatoes. In this sense, the objective of this work was to investigate the effect of photocatalyst for ethylene degradation in ripening of cherry tomatoes, using titanium dioxide (TiO₂) as catalyst and UV-A light. Green cherry tomatoes were placed into hermetically glass chambers, connected to the photocatalytic reactor. One-second chamber equal and in the same conditions, but not connected in reactor was used as control. Both were stored at 18°C ± 2°C and 85% relative humidity for 10 days and ethylene, CO₂ and O₂ concentrations were monitored using a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer (GC-MS). After the photocatalytic ethylene degradation, the tomatoes were packaged into flexible and glass containers for 20 days at 18°C ± 2°C and 85% relative humidity, during this period, the evolution of the gases and the physicochemical characteristics of fruits were evaluated. For tomatoes stored under photocatalytic, the ethylene concentrations was not detected during 10 days of photocatalytic ethylene degradation, on the other hand, for control fruits ethylene concentration was 23,5 nL/g on 8th day of storage. During ripening period, the tomatoes submitted to photocatalytic ethylene degradation, presented lower concentrations of C₂H₄, CO₂ and O₂ when compared to control fruits. Regarding the physicochemical characteristics during storage, the treated tomatoes showed lower weight loss, pH values and total soluble solids did not show significant difference. In addition, color and firmness showed the best results than control fruits. Thus, photocatalytic process for ethylene degradation can be an alternative to increase the tomatoes shelf life.

Keywords: cherry tomatoes, photocatalytic, ripening.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das duas etapas experimentais realizadas no estudo, (a) representa a primeira etapa do sistema de quebra fotocatalítica e (b) a segunda etapa do armazenamento dos tomates cereja após a quebra do etileno e controle (sem quebra).....	21
Figura 2 - Representação esquemática do sistema utilizado para as reações de oxidação fotocatalítica do etileno produzido por tomates cereja.....	22
Figura 3 - Diferentes estádios de maturação do tomate cereja.....	25
Figura 4 - Representação das quatro posições utilizadas para a avaliação da mudança de cor dos tomates cereja.....	26
Figura 5 - Evolução da concentração de O ₂ e CO ₂ durante a quebra fotocatalítica do etileno.....	28
Figura 6 - Taxa de respiração dos tomates cereja durante o período de quebra fotocatalítica.....	29
Figura 7 - Produção de etileno dos tomates cereja durante o período de 10 dias de quebra fotocatalítica.....	30
Figura 8 - Evolução da concentração de CO ₂ e O ₂ durante o período de armazenamento.....	31
Figura 9 - Taxa de respiração dos tomates cerejas durante o período de 20 dias de armazenamento.....	33
Figura 10 - Produção de etileno durante o armazenamento dos tomates cereja controle e com quebra fotocatalítica.....	35
Figura 11 - Recipientes de vidro utilizados para a medição dos gases durante 20 dias de armazenamento. (a) representa os frutos controle e (b) os frutos tratados com quebra fotocatalítica do etileno.....	35
Figura 12 - Força de perfuração (N) dos tomates cereja tratados com quebra fotocatalítica do etileno e controle.....	40
Figura 13 - Perda de massa durante o amadurecimento dos tomates controle e tratados com quebra fotocatalítica do etileno.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coloração dos tomates cereja controle (sem tratamento) e tratados com quebra fotocatalítica do etileno.....	38
Tabela 2 - Dados de pH e Sólidos Solúveis Totais (SST) dos tomates cereja com quebra fotocatalítica de etileno e controle, armazenados a 18°C e 85% UR.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[O ₂]	Concentração de oxigênio (%)
[CO ₂]	Concentração de gás carbônico (%)
C ₂ H ₄	Etileno
GC/MS	Cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas
t	Tempo (dia)
UV	Ultravioleta
UR	Umidade Relativa
N	Força em Newton
SST	Sólidos Solúveis Totais
BOPP	Polipropileno Biorientado
LDPE	Polietileno de Baixa Densidade
nm	nanômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	TOMATE	13
2.1.1	Origem.....	13
2.1.2	Aspectos morfológicos	13
2.1.3	Composição físico-química	14
2.2	FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE PÓS-COLHEITA.....	15
2.2.1	Qualidade pós-colheita do tomate	15
2.2.2	Respiração	16
2.2.3	Taxa de respiração.....	17
2.2.4	Etileno	18
2.3	FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	MATÉRIA-PRIMA.....	21
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	21
3.2.1	Primeira etapa: Quebra fotocatalítica do etileno.....	22
3.2.1.1	Aparato experimental.....	22
3.2.1.2	Quantificação dos gases de etileno, CO ₂ e O ₂	23
3.2.2	Segunda etapa: Armazenamento dos tomates cerejas.....	23
3.2.2.1	Determinação das concentrações dos gases.....	24
3.2.3	Caracterização físico-química.....	24
3.2.3.1	Cor.....	25

3.2.3.2	Firmeza.....	26
3.2.3.3	Perda de massa.....	26
3.2.3.4	Determinação do pH.....	27
3.2.3.5	Sólidos solúveis totais.....	27
3.2.3.6	Análise estatística.....	27
4	RESULTADOS.....	28
4.1	PRIMEIRA ETAPA: QUEBRA FOTOCATALÍTICA DO ETILENO	28
4.1.1	Evolução dos gases de O ₂ e CO ₂	28
4.1.2	Taxa de respiração.....	29
4.1.3	Produção de etileno	30
4.2	SEGUNDA ETAPA: ARMAZENAMENTO DOS TOMATES CEREJA SEM E COM QUEBRA DO ETILENO.....	31
4.2.1	Evolução da concentração de O ₂ e CO ₂	Erro! Indicador não definido.
4.2.2	Taxa respiratória durante armazenamento	32
4.2.3	Produção de etileno durante o armazenamento.....	33
4.2.4	Cor.....	36
4.2.5	Textura.....	39
4.2.6	Perda de massa.....	40
4.2.7	Brix e pH.....	41
5	CONCLUSÃO	46
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
7	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Frutas e legumes são componentes fundamentais de uma dieta saudável e seu consumo vem aumentando nos últimos anos devido a demanda dos consumidores por uma alimentação mais saudável (MADUREIRA, 2019). Dentre esses, o tomate cereja é considerado um cultivar popular entre os consumidores e muito apreciado devido ao seu baixo teor calórico, seu sabor delicado e adocicado e pelo alto conteúdo de compostos promotores de saúde, como o licopeno que atua como antioxidantes. (LIU, 2018).

No entanto, o tomate por ser um fruto climatérico apresenta vida pós-colheita relativamente curta, sua durabilidade varia de cinco a sete dias dependendo do estágio de maturação em que é colhido (GUERREIRO et al., 2016). Isso se deve ao fato da alta produção de etileno realizada pelos frutos climatéricos, este promove uma série de processos fisiológicos que ocasionam uma maturação acelerada, senescência e outras alterações que afetam a qualidade dos frutos, reduzindo o seu tempo de armazenamento e inviabilizando sua comercialização (BASSO et al., 2018).

Com o propósito de prevenir os problemas causados por esse fitormônio minimizando sua produção e ação na pós-colheita, diversas tecnologias vêm sendo utilizadas possibilitando a extensão da vida útil desse produto. A fotocatalise heterogênea surge como uma técnica promissora pois opera a temperatura ambiente, com baixos custos e não causa danos direto no produto. Essa técnica consiste no uso de luz ultravioleta e de material semicondutor como o dióxido de titânio (TiO_2), este quando é irradiado em um determinado comprimento de onda é capaz de ativar o fotocatalisador, ocasionando uma série de reações de redução e oxidação resultando na oxidação do etileno, produzindo dióxido de carbono (CO_2) e água (KELLER et al., 2013).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da fotocatalise no retardo do amadurecimento dos tomates cereja através da degradação do etileno e avaliar os parâmetros físico-químicos durante o período de armazenamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da quebra fotocatalítica do etileno nas características físico-químicas do tomate cereja.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a taxa de respiração dos frutos com e sem quebra fotocatalítica do etileno;
- Determinar a produção de etileno durante a quebra fotocatalítica e no armazenamento;
- Avaliar os efeitos da fotocatalise nas propriedades físico-químicas (textura, pH, sólidos solúveis totais e na coloração dos tomates cereja) durante o armazenamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TOMATE

2.1.1 Origem

O tomateiro é originário da região Andina que é constituída pelos países da América do Sul, que abrange o Equador, Colômbia, Peru, Bolívia até o norte do Chile. Sua domesticação aconteceu no México por tribos indígenas primitivas, e foi difundida pelo mundo através dos portugueses e espanhóis (ALVARENGA, 2004). É uma planta que se adapta à diferentes condições climáticas, não tolerando apenas temperaturas extremas (MINAMI; HAAG, 1989).

No início, o tomate era uma planta ornamental usado como objeto decorativo, e foi considerado por muitos uma planta tóxica (CAMARGO et al., 2006). A primeira referência em relação a aceitação do tomate na alimentação humana, ocorreu em 1554 pelo botânico Matthioli, onde a espécie inicialmente introduzida na Itália, era de cor amarelada, sendo apelidado de Pomi d'oro ou maçã dourada.

No Brasil, o tomate foi introduzido por imigrantes europeus no fim do século XIX, porém ele só foi incrementado no consumo após a Primeira Guerra Mundial, por volta de 1930 (ALVARENGA, 2004).

A descoberta da sua notável riqueza nutricional, como a presença de diversas vitaminas e sais minerais, junto com seu agradável sabor e cor, contribuiu para a rápida popularização do seu consumo (ESPINOZA, 1991). Outro fator que também colaborou para a sua difusão, foi o desenvolvimento de diversos cultivares, os quais se desenvolvem em diferentes condições no mundo todo (MARANCA, 1986).

2.1.2 Aspectos morfológicos

O tomateiro é uma planta dicotiledônea da ordem Tubiflorae, que pertence à família Solanaceae e ao gênero *Lycopersicon*, esse gênero é dividido em dois subgêneros, *Eulycopersicon* que produz frutos avermelhados quando maduros, e *Eriopersicon* que apresenta frutos de cor verde, amarela e esbranquiçada. O tomate comercialmente cultivado é chamado cientificamente de *Lycopersicon esculentum* (MINAMI; HAAG, 1989).

As espécies cultivadas são perenes, de porte arbustivo, cultivadas anualmente e podem se desenvolver de forma rasteira, semi-ereta ou ereta. O tomate trata-se de um fruto, visto que é o produto do desenvolvimento do ovário e do óvulo da flor, gerando o pericarpo e as sementes após a fecundação, esse fruto apresenta-se como uma baga, de formato variável, carnoso e suculento. Quando maduro apresenta coloração vermelha, e o seu peso final varia de 5 a 500 g sendo este relacionado com o número de lóculos e com o número de sementes (ALVARENGA, 2004; BECKER et al., 2016).

Existe uma gama de espécies de tomates cultivados e consumidos no Brasil, entre esses, destaca-se o tomate cereja (*L. esculentum* var. Cerasiforme), considerado uma forma ancestral do tomate. É caracterizado por apresentar frutos de pequeno tamanho (5-25 g), arredondados, periformes ou ovalados, com uma atrativa coloração vermelha. (FILGUEIRA, 2008).

O tomate do tipo cereja, é considerado como uma hortaliça exótica, que pode ser acrescentada em cardápios de restaurantes por serem pequenos e delicados, na qual trazem novos sabores, como também enfeitam pratos e aperitivos, com vantagem de ter tamanho reduzido evitando desperdício (MACHADO et al., 2003).

2.1.3 Composição físico-química

A composição dos frutos pode variar devido a vários fatores pré e pós-colheita como a origem, genética, condições de cultivo, condições do solo, climática e com o estágio de amadurecimento (RAFFO et al., 2002).

O fruto fresco apresenta na sua composição um baixo valor energético, e é constituído por uma alta quantidade de água em torno de 93-97%, e aproximadamente 5 a 7% de sólidos solúveis, destes 65% são açúcares redutores (glicose e frutose) que se encontram em maior quantidade na fase final de maturação, e o restante são ácidos orgânicos principalmente ácido cítrico e málico, que contribuem com o típico sabor ácido/doce dos tomates (GOULD, 1991).

A cor verde dos tomates não maduros se deve à presença de clorofila. Durante o amadurecimento dos frutos ocorre a perda da cor verde devido à hidrólise da estrutura de clorofila, que é causada principalmente pelas mudanças de pH, pela presença de sistemas oxidantes e pela atividade de clorofilases (AWAD, 1993). A coloração do fruto maduro se deve à presença de carotenoides, particularmente licopeno e caroteno.

Os tomates são considerados importantes fontes de carotenoides que agem como antioxidantes, onde o principal é o licopeno, pigmento que confere a cor vermelha característica do tomate, e o β -caroteno a cor amarela. O tomate *in natura* apresenta em média, 30 mg de

licopeno/kg do fruto; o suco de tomate, aproximadamente 150 mg/L e o ketchup cerca de 100 mg/kg (SHAMI; MOREIRA, 2004). Estes também são ricos em vitamina A, C e cálcio. Entre os minerais, o potássio é o mais abundante e apresenta maior influência na qualidade dos frutos (SHI; MAGUER, 2000).

O tomate vem sendo definido como um alimento funcional, devido as evidências epidemiológicas que o apontam como responsável pela redução do risco de câncer, diminuição do risco de doença cardiovascular e nos níveis de colesterol (TRINDADE; MARTUCCI, 2011).

2.2 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE PÓS-COLHEITA

2.2.1 Qualidade pós-colheita do tomate

Segundo Chitarra (2005), qualidade pode ser definida como um conjunto de características que permitem diferenciar um mesmo produto e que tem influência no grau de aceitação desse produto pelo consumidor. A qualidade dos frutos é atribuída às suas características físicas (formato, tamanho e cor) e bioquímicas (principalmente dos teores de açúcares, ácidos e compostos voláteis), que resultam nas propriedades sensoriais exigidas pelo mercado.

Por ser um fruto climatérico, no período pós-colheita, o amadurecimento resulta em diversas modificações físico-químicas e bioquímicas, como mudança na coloração, aparência, firmeza, aumento de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável, é nesta etapa que o fruto se desenvolve completamente e atinge a sua máxima qualidade estética comestível (FERNANDES, 2016).

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto de vida útil curta, que necessita de alguns métodos que estendam a sua conservação por um período de tempo maior. As alterações que ocorrem neste período podem estar relacionadas a fatores como respiração, produção de etileno e crescimento microbiano.

Desta forma, uma maneira de conservar a qualidade e assim prolongar o tempo de prateleira do tomate, reduzindo as perdas, é eliminar o etileno dos ambientes de armazenamento e transporte desses frutos (KELLER et al., 2013; YE et al., 2015).

2.2.2 Respiração

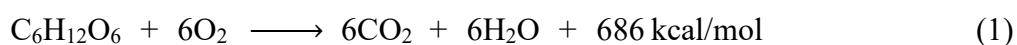
A respiração é um processo metabólico realizado por todos os seres vivos, que tem como principal função o fornecimento de energia necessária para os processos bioquímicos da planta (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002).

De acordo com Chitarra (2005) e Silva (2008), a atividade respiratória dos frutos pode ser classificada em duas categorias:

- a) Frutos climatéricos: são aqueles que em determinada etapa do seu ciclo vital, apresentam um aumento abrupto da respiração, medida pela evolução do gás carbônico e produção de etileno, ocasionando o amadurecimento dos frutos, portanto, o termo “climatérico” refere-se ao total de mudanças que ocorrem nessa fase crítica do fruto, que é desencadeada pelo etileno na qual ocorrem várias mudanças, sendo uma delas o aumento na taxa respiratória.
- b) Frutos não climatéricos: apresentam poucas mudanças fisiológicas após serem colhidos, e atividade respiratória parcialmente baixa e constante, com um leve declínio após a colheita. Esses frutos só completam o processo de amadurecimento enquanto estão unidos à planta-mãe.

A respiração destaca-se como o principal fenômeno fisiológico que influencia na conservação e na qualidade das frutas e hortaliças após a colheita, visto que, quando o fruto ainda está conectado a planta-mãe, o processo de fotossíntese fornece o oxigênio necessário para o desenvolvimento de nutrientes que são transferidos para o fruto. E após colhido, este não tem mais o fornecimento de nutrientes, porém segue vivo e suas transformações químicas naturais continuam (GOYETTE et al., 2012). Os frutos climatéricos, como o tomate, utilizam suas próprias reservas de substratos ou de compostos orgânicos que foram acumulados durante o crescimento e maturação, para continuar o seu processo metabólico (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O processo de respiração aeróbica, envolve uma reação bioquímica na qual ocorre a degradação oxidativa de moléculas complexas de substrato (carboidratos, proteínas, gorduras, ácidos orgânicos), em moléculas mais simples, na qual são liberados dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O) com produção de energia, conforme indicado na Equação 1 (GOYETTE et al., 2012)



A respiração é geralmente um bom indicador das taxas metabólicas dos frutos colhidos, e seu controle pode ser um efetivo meio de regular o metabolismo geral e estender a pós-colheita deste produto (MATHOOKO, 1996). Quanto maior a taxa de respiração, menor a vida útil e mais rápida a deterioração da qualidade, ou seja, para garantir um prolongamento da vida de prateleira, a taxa de respiração deve ser reduzida ao nível mais baixo possível, o suficiente para manter as atividades vitais essenciais (GOYETTE et al., 2012).

2.2.3 Taxa de respiração

A taxa de respiração pode ser utilizada como indicador da vida útil de frutas e hortaliças. Essa taxa depende da temperatura e da composição da atmosfera (CO_2 , O_2 e etileno) que envolve o produto (MAHAJAN e GOSWAML, 2001). Em alimentos climatéricos a taxa de respiração pode ser definida pelo consumo de oxigênio e produção de gás carbônico no interior da câmara. As Equações (2) e (3) abaixo são dadas pela taxa de variação da concentração dos gases, a massa do produto e volume livre do recipiente (TORRIERI et al., 2009;).

$$r_{O_2} = - \frac{V_L}{100 W} \frac{dO_2}{dt} \quad (2)$$

$$r_{CO_2} = \frac{V_L}{100 W} \frac{dCO_2}{dt} \quad (3)$$

Em que r_{O_2} é a taxa respiratória em função do consumo de O_2 (mL/kg.h), r_{CO_2} é a taxa respiratória em função da produção de CO_2 (mL/kg.h), O_2 e CO_2 são as concentrações de O_2 e CO_2 (%), V_L o volume livre do recipiente/embalagem (mL) e W a massa do fruto (kg).

Uma função de regressão de dois parâmetros baseada no modelo de PELEG (1988) é geralmente usada para ajuste da equação aos dados de concentração de gás versus o tempo, e a taxa de respiração é determinada pela primeira derivada da função regressão (HAGGER et al., 1992; DASH et al., 2007). Um modelo similar foi aplicado para dados de respiração de tomates (TOSATI et al., 2015) e bananas (BHANDE et al., 2008). Os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos utilizando-se as Equações (4) e (5).

$$[O_2] = 0,21 - \frac{t}{(at+b)} \quad (4)$$

$$[CO_2] = \frac{t}{(at+b)} \quad (5)$$

A primeira derivada das funções de regressão, equação (4) e (5) são usadas para determinar a taxa de variação da concentração do gás, conforme as Equações (6) e (7) descrita abaixo:

$$\frac{d[O_2]}{dt} = - \frac{b}{(at+b)^2} \quad (6)$$

$$\frac{d[CO_2]}{dt} = \frac{b}{(at+b)^2} \quad (7)$$

Substituindo as equações (6) e (7) nas equações (2) e (3) se obterá a taxa de respiração do fruto com o tempo, por meio de um programa desenvolvido no *software* Matlab (Mathworks Inc., USA).

2.2.4 Etileno

O etileno ou eteno é um hidrocarboneto constituído de 2 átomos de carbono e 4 átomos de hidrogênio (C₂H₄), considerado um fitohormônio gasoso responsável por diversos processos fisiológicos durante o crescimento, desenvolvimento e senescência de tecidos vegetais, e que desempenha um papel importante no processo de amadurecimento dos frutos (GRAY et al., 1992). O etileno é fisiologicamente ativo em concentrações extremamente baixas, medidas na faixa de partes por milhão (ppm, µL/L) a partes por bilhão (ppb, nL/L) (KELLER et al., 2013).

O repentino aumento na produção de etileno na fase do amadurecimento é considerado como um controlador da iniciação das mudanças na cor, aroma, textura, sabor, e outros atributos fisiológicos e bioquímicos. Os frutos não-climatéricos são considerados como possuidores de um processo de amadurecimento independente do etileno (Lelievre et al., 1997).

Entretanto para exercer seus efeitos o etileno necessita ser biossintetizado ou fornecido por fontes externas. Sua biossíntese se inicia com a metionina sendo transformada em S-adenosilmetionina (SAM), formando o ácido 1-aminociclopropano carboxílico (ACC), pela ação da ACC sintetase, e por fim mediante a ação da ACC oxidase e na presença do oxigênio, o ACC se transforma no etileno, que é o produto final da cadeia e vai agir na célula promovendo o processo de amadurecimento (BRECHT et al., 2010).

Estima-se que de 10-80% dos produtos hortícolas sejam perdidos devido os prejuízos causados pelo etileno. Por essa razão, a remoção do etileno dos ambientes de armazenamento desses frutos é de extrema importância (YE et al., 2015).

Entre os diferentes métodos convencionais para essa remoção, temos a ventilação que minimiza as concentrações de etileno, porém tem baixa eficiência para remover níveis pequenos

deste, além de depender de grandes quantidades de energia. Outra alternativa envolve o uso de permanganato de potássio (KMnO_4), que oxida o etileno a CO_2 e água, porém é tóxico e requer substituição contínua. Já o ozônio que é conhecido como o agente oxidante mais poderoso, não deve ser utilizado para a remoção de etileno, pois pode causar danos na aparência e qualidade dos frutos, além de ser tóxico quando inalado (MANEERAT et al., 2003).

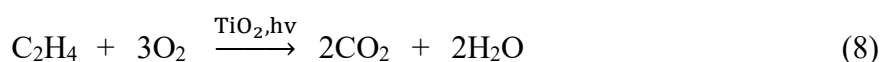
Sendo assim, um dos métodos utilizados seria a fotocatalise heterogênea, considerada como uma tecnologia altamente promissora e confiável para a prevenção do amadurecimento dos frutos à temperatura ambiente, que combina a eficiência da oxidação catalítica com o baixo consumo de energia e baixa carga térmica resultante da irradiância UV (YE et al., 2015).

2.3 FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA

A fotocatalise heterogênea surgiu em meados da década de 1980, como uma alternativa para a purificação de águas residuais contaminadas com poluentes orgânicos, como para a remoção de contaminantes do ar. Essa técnica, também tem provado ser eficiente para a remoção de etileno de instalações de armazenamento de frutos, a fim de estender a vida útil pós-colheita, e ainda ser usada combinando outros métodos, como armazenamento a frio, atmosferas controladas ou embalagens com atmosfera modificadas (KELLER et al., 2013).

A reação fotocatalítica requer o uso de materiais semicondutores, com intervalos de bandas adequados como catalisadores, sendo a energia suprida pela absorção direta da luz. Entre esses semicondutores ativados pela luz UV, o mais interessante e eficiente é o TiO_2 , pois apresenta uma alta eficiência fotocatalítica devido ao seu alto rendimento quântico, estabilidade à fotocorrosão e produtos químicos, insolubilidade na água, baixa toxicidade e baixo custo. Esse material fotocatalítico não é consumido durante o processo de oxidação, portanto, não há a necessidade de substituição e descarte. Podendo ser aplicado a unidades e armazenamento de grande e pequena escala e usado para baixas e altas concentrações de etileno (KELLER et al., 2013).

Quando ativado pela luz UV, o TiO_2 gera radicais hidroxila e íons superóxidos em sua superfície que atuam como agentes oxidantes para converter os poluentes orgânicos em CO_2 e vapor de água (AKIYAMA; TOGEDA, 2000; MANEERAT et al., 2003). A oxidação fotocatalítica do etileno é baseada segundo a Equação 8:



Além do efeito sobre o etileno, temos também a eficiência do catalisador para inativar microrganismos patogênicos. A atividade antimicrobiana pode ser interessante para eliminar as bactérias causadoras de patógenos, e assim diminuir a deterioração de produtos frescos durante a vida de prateleira. Vários estudos da literatura em relação ao efeito do dióxido de titânio durante o manuseio pós-colheita, relataram a sua eficácia no prolongamento da vida útil dos produtos (MANEERAT; HAYATA, 2006; CHAWENGKIJWANICH; HAYATA, 2008; HU et al., 2011; BODAGHI et al., 2013).

Sendo assim, o uso da fotocatalise heterogênea tem recebido um amplo interesse de vários pesquisadores, tanto para a remoção de microrganismos, como para tratamento de água, desinfecção de ar, assim como também para a remoção de etileno de ambientes de armazenamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

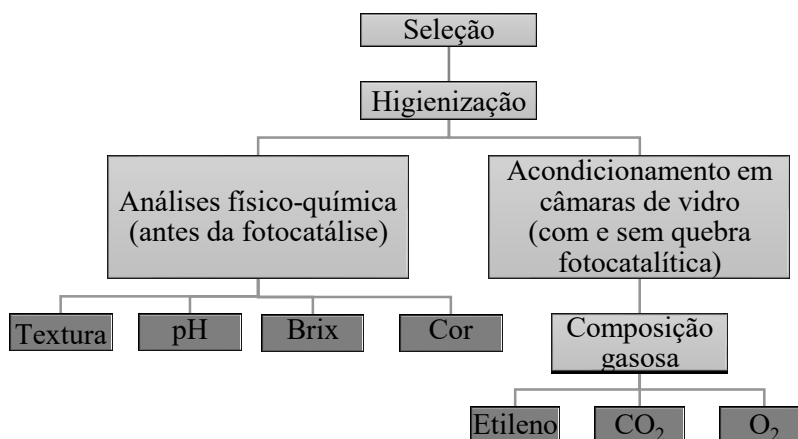
Os tomates cereja (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*) foram adquiridos de um produtor da região da grande Florianópolis-SC. Sendo estes armazenados a 5°C e 85% de umidade relativa (UR) por 12 horas até o início das análises.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

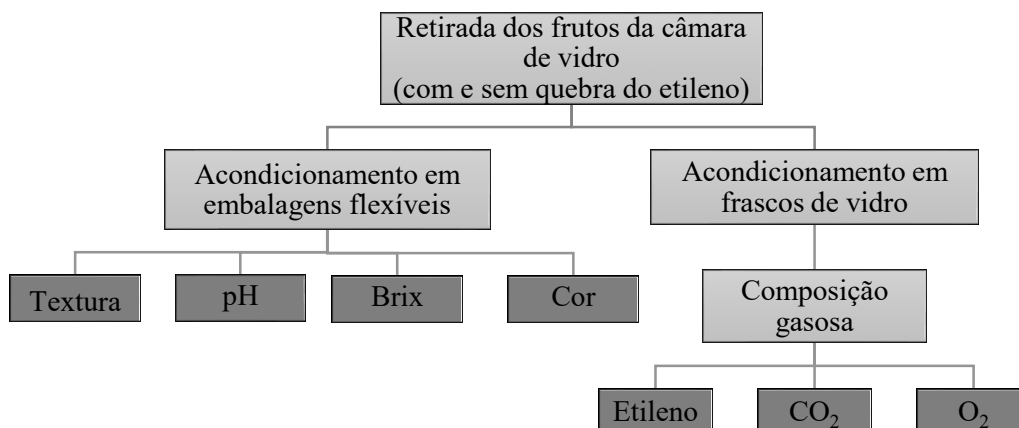
O trabalho realizado foi desenvolvido em duas partes experimentais, conforme os esquemas descritos na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das duas etapas experimentais realizadas no estudo, (a) representa a primeira etapa do sistema de quebra fotocatalítica e (b) a segunda etapa do armazenamento dos tomates cerejas após a quebra do etileno e controle (sem quebra).

(a)



(b)



Fonte: Autor (2019).

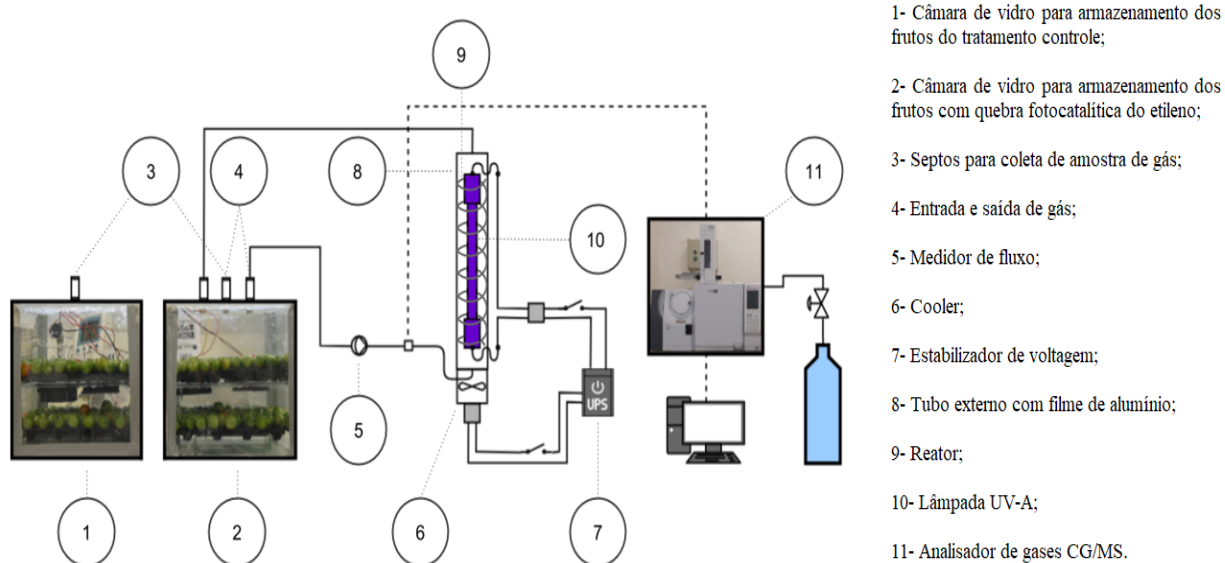
3.2.1 Primeira etapa: Quebra fotocatalítica do etileno

Para a primeira etapa do experimento, os tomates foram selecionados de acordo com tamanho, estágio de maturação e integridade física. Após a seleção, os tomates foram higienizados em água corrente e sanitizados com solução de cloro ativo (100 mg/L) durante 15 minutos. Sucessivamente os frutos foram divididos em três lotes, um lote foi destinado para as análises físico-química e os outros dois lotes contendo aproximadamente 1 kg de tomate cada, foram dispostos separadamente em câmaras de vidro hermeticamente fechada. Uma câmara para a realização dos ensaios de quebra fotocatalítica e outra câmara contendo os tomates sem quebra fotocatalítica (controle). Em ambas as câmaras foram realizadas o controle dos gases.

3.2.1.1 Aparato experimental

As análises de degradação catalítica do etileno foram realizadas na Central de Análises do departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC. O sistema para o estudo da quebra do etileno foi montado de acordo com Alves (2019), em que um reator de fluxo contínuo foi acoplado a câmara contendo os frutos, conforme Figura 2. O etileno, foi analisado em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas (GC-MS).

Figura 2 – Representação esquemática do sistema utilizado para as reações de oxidação fotocatalítica do etileno produzido por tomates cereja.



Fonte: Alves (2019).

O reator apresentado na posição 9 da figura 2 consiste em um tubo de vidro borossilicato em formato espiral com diâmetro interno de 4 mm e comprimento de 2620 mm, na sua parede interna foi depositado um filme de dióxido de titânio (TiO₂ P25, Degussa Co.) em etanol com 0,419 µm de espessura. No centro do reator foi posicionada longitudinalmente uma lâmpada UV-A (T5 blb 8W, Light Express), esta possui radiação na faixa de 343-400 nm com pico máximo em 365 nm. A irradiação incidente na superfície do reator foi de 5,18 W/m² sendo determinada através de um radiômetro (UV-int 150+, UV-int). Também foi utilizado para manter o fornecimento constante de energia um estabilizador de energia elétrica.

3.2.1.2 Quantificação dos gases de etileno, CO₂ e O₂

A quantificação do etileno dos tomates dispostos nos reatores durante a quebra fotocatalítica foi realizada nas primeiras 6 horas em um intervalo de 1h, após foi realizada uma medição a cada dia. Do interior do reator contendo os frutos foram retiradas alíquotas dos gases com auxílio de uma seringa de 250 µL (1725 RN, Hamilton) e injetada em cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrofotômetro de massas (GCMS-QP2010 Plus, Shimadzu, Japão) equipado com uma coluna capilar tubular aberta de camada porosa (Supel-Q Plot, Supelco) com 30 m x 32 mm e espessura média de 15µm de polímero de divinilbenzeno que atua como fase estacionária. Foi utilizado como gás de arraste o Hélio (99,99% de pureza, White Martins) com fluxo constante de 1,33 mL/min.

Para a determinação da concentração dos gases O₂ e CO₂ foi utilizado um analisador de gás (PBI Dansensor, Checkmate II, Dinamarca). As leituras foram realizadas no primeiro dia durante 8 h em intervalos de 1 h e a cada 24 h, durante o período de 10 dias de quebra fotocatalítica.

3.2.2 Segunda etapa: Armazenamento dos tomates cereja

Após 10 dias do processo de quebra fotocatalítica, os frutos tratados e controle foram dispostos em embalagens flexíveis de polipropileno biorientado/polietileno de baixa densidade (BOPP/LDPE) com 75 µm de espessura, 175 mm de largura x 240 mm de comprimento (Spell embalagens, SP, Brasil), as embalagens contendo os frutos foram seladas utilizando equipamento selador a vácuo (200B, Selovac, São Paulo, Brasil), sucessivamente foram acondicionadas em BOD a 18°C e 85% de umidade relativa, de acordo com Fagundes et al.

(2015) com modificações. Os frutos foram avaliados no dia da retirada do reator (dia 0), e nos dias 7, 14 e 20 de armazenamento.

Dos frutos oriundos das câmaras de vidro, $40 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ foram acondicionados dentro de recipientes de vidro (200 mL) hermeticamente fechado contendo ar atmosférico para a quantificação dos gases de etileno, CO_2 e O_2 . As amostras foram armazenadas em duplicata e denominadas controle 1 e 2 (oriundas da câmara controle) e fotocátalise 1 e 2 (oriundas da câmara de fotocátalise), sendo estas acondicionadas em BOD a 18°C e 85% de UR.

3.2.2.1 Determinação das concentrações dos gases

As concentrações de O_2 e CO_2 dos tomates cereja durante o período de armazenamento (após a quebra do etileno) foram obtidas utilizando o mesmo equipamento descrito no item 3.2.1.2., sendo as leituras realizadas no primeiro dia (dia 0) durante as primeiras 8 h em intervalos de 1 h, e após 24, 48 e 72 h. Durante o armazenamento foram realizadas uma leitura após 7, 14 e 20 dias com os mesmos intervalos de 24, 48 e 72 horas para as amostras controle e com quebra fotocatalítica.

A quantificação da produção de etileno foi realizada da mesma maneira descrita no item 3.2.1.2, sendo as leituras realizadas nas primeiras 6 h no primeiro dia (dia 0) e uma medição a cada dia. A concentração volumétrica de etileno foi quantificada usando um padrão de calibração externo e os resultados foram expressos em nL/g de fruta fresca.

3.2.3 Caracterização físico-química

Os tomates controle e os tratados com fotocátalise foram avaliados através da sua coloração, firmeza, perda de massa, pH, sólidos solúveis totais. Sendo essas análises realizadas antes da quebra fotocatalítica, no primeiro dia após a retirada do reator (dia 0), 7, 14 e 20 dias.

Durante a caracterização físico-química os frutos foram classificados em diferentes estádios de maturação (Figura 3), baseado em Alvarenga (2004) com adaptações foram classificados em 4 graus, sendo eles:

- Grau 1 (G1): frutos com a superfície 100% verde;
- Grau 2 (G2): frutos com até 30% da superfície com coloração vermelha;
- Grau 3 (G3): frutos com superfície vermelha maior que 30% e menor que 90%;
- Grau 4 (G4): quando mais de 90% da superfície do fruto encontra-se vermelha;

Figura 3 – Diferentes estádios de maturação do tomate cereja.



Fonte: Autor (2019).

3.2.3.1 Cor

De acordo com Cárdenas-Pérez et al. (2017) para avaliar a mudança de coloração durante o amadurecimento dos frutos é possível utilizar um sistema de visão computacional. A cor dos tomates cereja foi medida através do *software* ImageJv 1.6.0 (National Institutes of Health, Bethesda, USA) e de uma câmera fotográfica (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão) para a captação das imagens. Sucessivamente dentre as imagens foram selecionadas 4 regiões do fruto (Figura 4), sendo estas tratadas usando um *plug-in* Color Space Converter que tem como objetivo converter as cores RGB para a escala CIELab. O sistema dispõe de alguns parâmetros que definem a cor, a coordenada “L*” é referente ao grau de luminosidade (L* = 0 (preto) a 100 (branco)), a coordenada “a*” expressa o grau de variação do vermelho ao verde (a* positivo = vermelho, a* negativo = verde), e “b*” representa o grau de variação entre o amarelo e o azul (b* positivo = amarelo, b* negativo = azul), para a obtenção do parâmetro “c*” que fornece uma medida de saturação, “h*” que corresponde a tonalidade e a diferença de cor (ΔE), foram utilizadas as Equações (9),(10) e (11)

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (9)$$

$$h^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (10)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (11)$$

Onde $\Delta L^* = L^* - L_0^*$; $\Delta a^* = a^* - a_0^*$; $\Delta b^* = b^* - b_0^*$, os parâmetros de cores iniciais correspondem ao período antes da quebra fotocatalítica.

Figura 4 – Representação das quatro posições utilizadas para a avaliação da mudança de cor dos tomates cereja.



Fonte: Autor (2019).

Durante o experimento foram utilizados 10 frutos por tratamento, sendo estes classificados e avaliados em diferentes estádios de maturação como descrito na Figura 3.

3.2.3.2 Firmeza

A firmeza dos frutos do tomate cereja foi medida com o auxílio de um texturômetro (TAXT2i, Stable Micro System, Reino Unido) com célula de carga de 25 kg seguindo o método proposto por Sánchez-González et al. (2011) com algumas modificações. O teste de perfuração foi realizado com uma sonda de 2 mm de diâmetro e velocidades de pré-teste de 2 mm/s, de teste 3,3 mm/s e de pós-teste 3,0 mm/s, com uma profundidade de penetração de 5 mm.

3.2.3.3 Perda de massa

A perda de massa dos tomates foi determinada em balança semi-analítica com precisão de 0,01 g (Marte, AS2000C, Brasil). Lotes de 10 frutos com tratamento e controle foram pesados no dia inicial (dia 0) e ao longo do armazenamento, sendo pesados os mesmos lotes que foram devidamente identificados, durante o período de análise no dia inicial e nos dias 7,14 e 20. A perda de massa foi calculada de acordo com a Equação 12.

$$PM (\%) = 1 - \frac{M_N}{M_O} * 100 \quad (12)$$

Onde: PM representa a perda de massa em (%), M_O a massa no tempo inicial do armazenamento, M_N a massa para os dias posteriores da análise (PEREIRA et al., 2005).

3.2.3.4 Determinação do pH

Para a obtenção do pH dos tomates primeiramente os frutos foram liquidificados, resultando em um suco concentrado sendo sucessivamente realizada a leitura em triplicata em pHmetro digital (Testo, 205, Alemanha), conforme AOAC (2005).

3.2.3.5 Sólidos solúveis totais

O teor dos sólidos solúveis totais foi determinado através de um refratômetro digital (ATAGO, PAL-BX/RI, Japão) com capacidade de medição de °Brix de 0-93%, a análise foi realizada em triplicata sendo utilizada em média 3 gotas do suco concentrado de tomate, e os resultados expressos em °Brix de acordo com AOAC 2005.

3.2.3.6 Análise estatística

O *software* Statistica 10 (Stafsoft Inc., EUA) foi utilizado para avaliar os resultados por meio de análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS

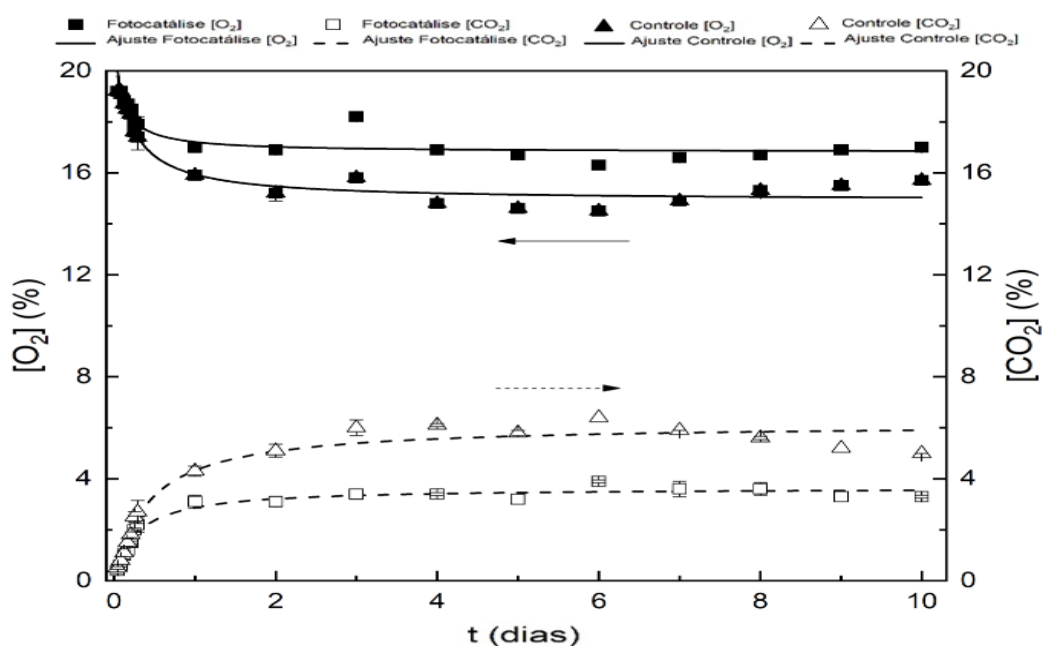
4.1 PRIMEIRA ETAPA: QUEBRA FOTOCATALÍTICA DO ETILENO

4.1.1 Evolução dos gases de O₂ e CO₂

Os resultados expressos na Figura 5 são correspondentes as concentrações dos gases presente nas câmaras de armazenamento dos tomates cereja durante o período de quebra fotocatalítica do etileno.

De modo geral houve um aumento da concentração de CO₂ e uma diminuição na concentração de O₂, o que concorda totalmente com o processo de respiração, onde ocorre a troca gasosa com o ar ambiente sendo liberado CO₂ e consumido O₂ (KAYS, 1991). As amostras controle mostraram uma redução e aumento para os valores de O₂ e CO₂ durante os 10 dias de armazenamento, de 19,2% para 15,6% e de 0,5% para 5,0%, já as amostras tratadas apresentaram uma pequena variação na concentração dos gases, tanto para O₂ de 19,2% para 16,9%, como de CO₂ de 0,4% para 3,2%. O equilíbrio entre as concentrações dos gases foi atingido a partir das 24 horas de análise. Através desse resultado observa-se que o tomate sem tratamento apresenta as maiores concentrações de gases, o que é esperado em função da maturação mais rápida, o que não acontece com os frutos tratados com TiO₂.

Figura 5 – Evolução da concentração de O₂ e CO₂ durante a quebra fotocatalítica do etileno.

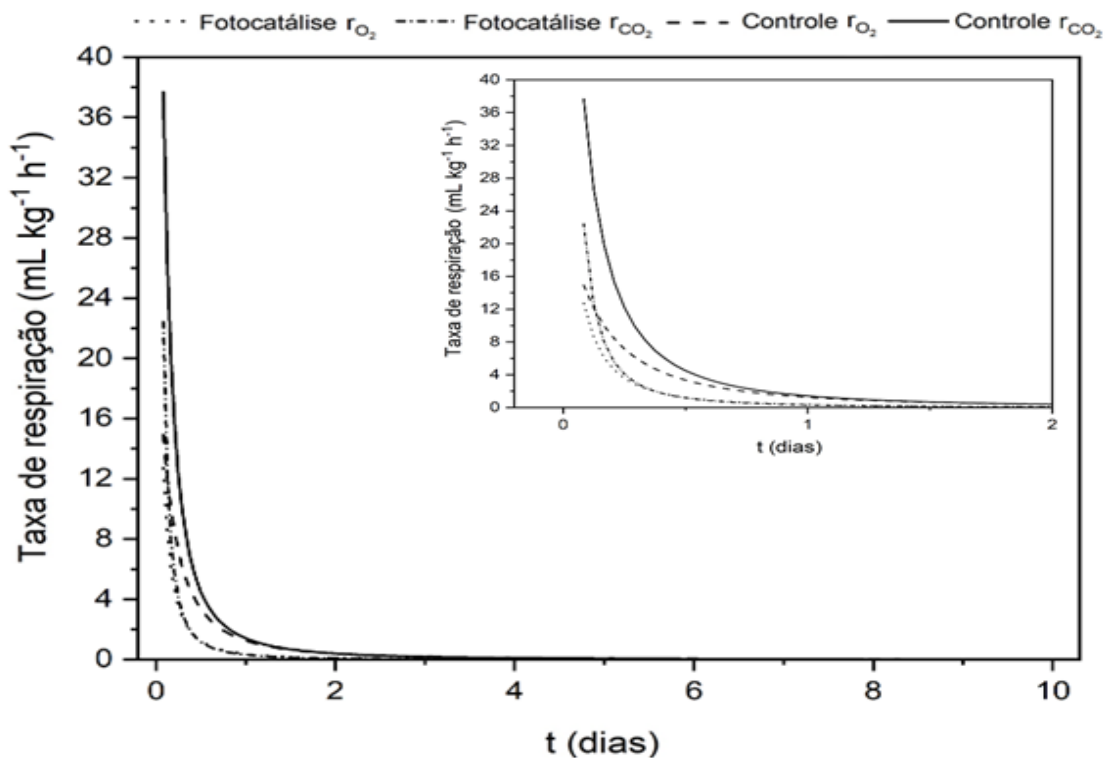


Fonte: Autor (2019)

4.1.2 Taxa de respiração

A taxa de respiração dos tomates durante o processo de quebra fotocatalítica do etileno foi obtida a partir das concentrações de O_2 e CO_2 , e calculadas utilizando as equações (2) e (3) conforme descrito no item 2.2.3, sendo os valores expressos em $mLO_2/kg.h$ e $mLCO_2/kg.h$ (Figura 6). Os resultados obtidos concordam com o que foi discutido no item anterior, pois conforme maior disponibilidade de oxigênio, assim como também a exposição ao etileno dos tomates controle, faz com que estes apresentem uma maior taxa respiratória de 37,68 $mLCO_2/kg.h$ e 14,94 $mLO_2/kg.h$, esse fato afeta sua vida útil, acelerando sua senescência. Os tomates tratados com a fotocatalise apresentaram uma taxa máxima de 22,42 $mLCO_2/kg.h$ e 12,73 $mLO_2/kg.h$. O equilíbrio da taxa de respiração foi obtida após 24 h.

Figura 6 – Taxa de respiração dos tomates cereja durante o período de quebra fotocatalítica.

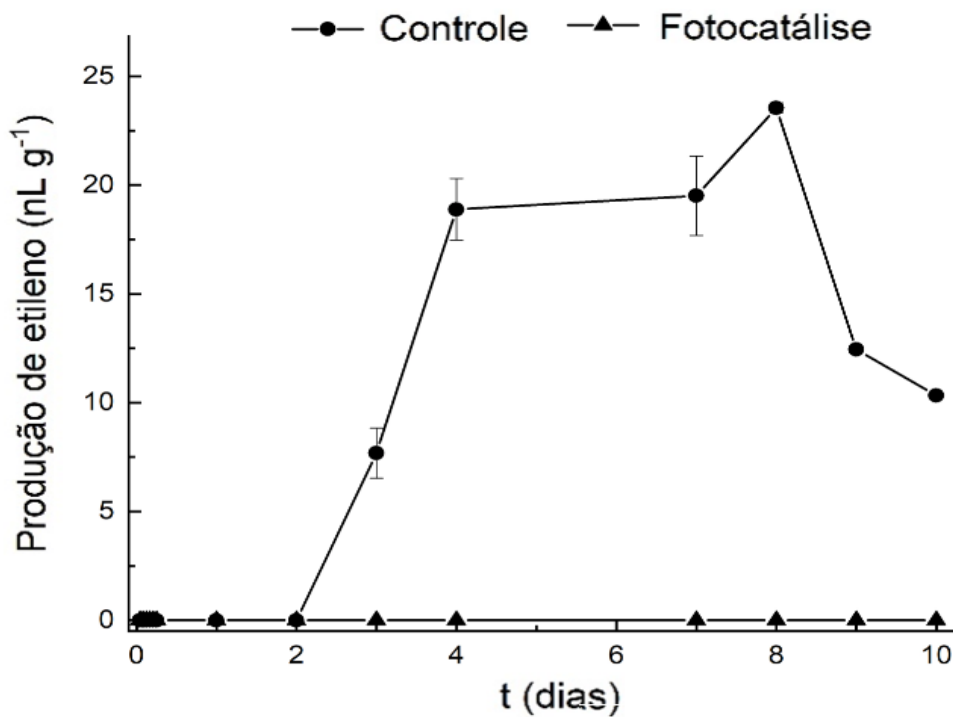


Fonte: Autor (2019)

4.1.3 Produção de etileno

O tomate sendo um fruto climatérico apresenta picos de produção de etileno como também de CO_2 durante o amadurecimento (ALEXANDER & GRIERSON, 2002), esse pico é totalmente identificado para os frutos controle (Figura 7), observa-se que a produção de etileno aumenta gradativamente ao longo dos dias de armazenamento chegando a concentração máxima no 8º dia de 23,5 nL/g. Já para os frutos que sofreram o processo de quebra fotocatalítica do etileno tem-se a inibição da produção desse fitormônio, não sendo possível identificá-lo. Assim, o TiO_2 usado como catalisador ativado pela luz ultravioleta mostrou-se efetivo na quebra do etileno produzido por tomates cerejas a temperatura ambiente.

Figura 7 – Produção de etileno dos tomates cereja durante o período de 10 dias de quebra fotocatalítica.



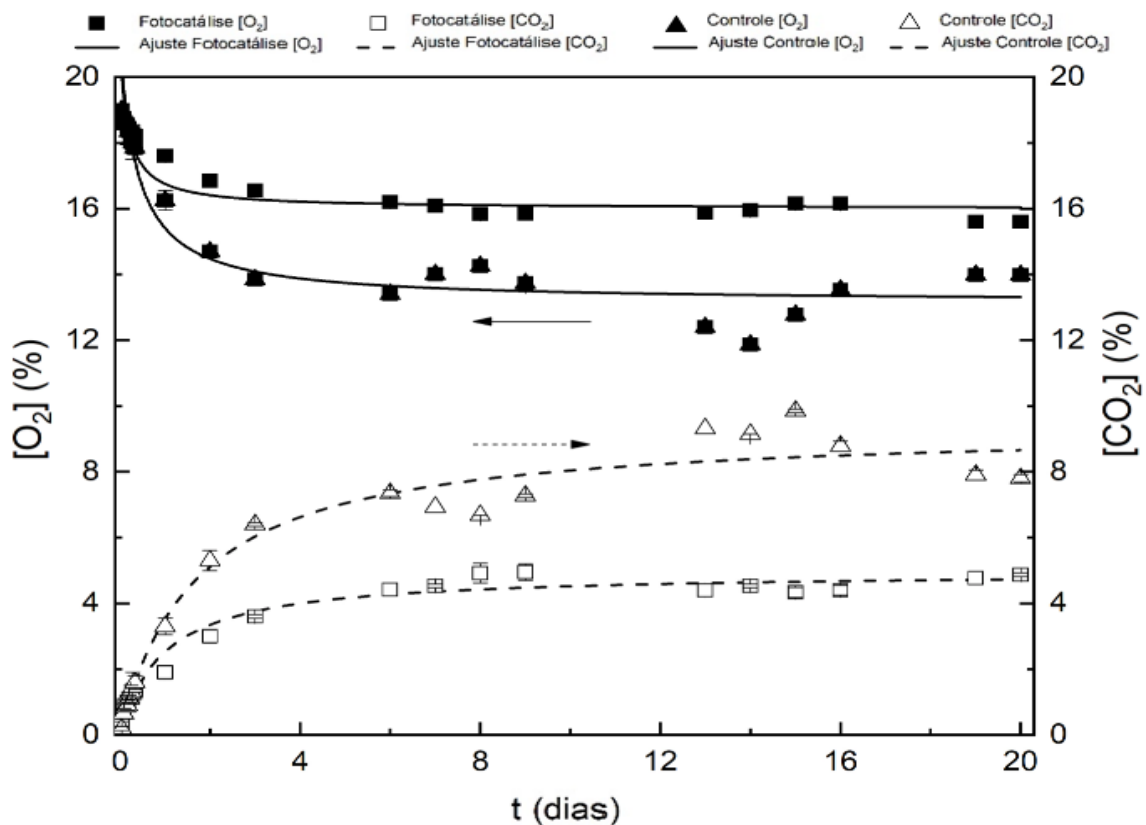
Fonte: Autor (2019)

4.2 SEGUNDA ETAPA: ARMAZENAMENTO DOS TOMATES CEREJA SEM E COM QUEBRA DO ETILENO

4.2.1 Evolução da concentração de O₂ e CO₂

Após o processo de quebra fotocatalítica do etileno, os frutos foram acondicionados e a evolução da concentração de CO₂ e O₂ durante o período de 20 dias (Figura 8) foi acompanhada. Como resultado obteve-se para as amostras controle uma diminuição na concentração de O₂ de 19,0% para 14,0%, e um aumento da concentração de CO₂ de 0,2% para 7,9%. Os frutos que foram submetidos a fotocatalise apresentaram o mesmo comportamento, reduzindo O₂ de 19,0% a 15,6% e aumentando o CO₂ de 0,3% a 4,7%. Neste caso, houve um consumo de O₂ de 3,4% e de 5,0% e uma produção de CO₂ de 4,4% e 7,7%, para os frutos tratados e controle.

Figura 8 – Evolução da concentração de CO₂ e O₂ durante o período de armazenamento.



Fonte: Autor (2019).

As células vivas dos produtos vegetais colhidos respiram continuamente, utilizando reservas armazenadas e oxigênio do ambiente circundante liberando dióxido de carbono

(KAYS, 1991). É possível observar que os frutos tratados apresentam melhores resultados, pois estes utilizam uma menor concentração de oxigênio o que conseqüentemente acarreta em uma menor produção de dióxido de carbono o que indica que houve um retardamento na velocidade de respiração, sendo benéfico para a manutenção da qualidade dos tomates cereja.

Tosati (2013) estudando a aplicação de coberturas comestíveis a base de hidroxipropilmetilcelulose em tomates cereja, verificou durante o período de 60 horas a 20° C que houve uma maior redução no consumo de O₂ e uma maior produção de CO₂ para os frutos revestidos. Este observou um consumo de O₂ e produção de CO₂ de 11,96% e 15,9% para os frutos revestidos, e de 16,1% e 14,85% para os frutos sem filme. Choi et al. (2015) investigou o efeito da irradiação ultravioleta-C combinada com embalagens de atmosfera modificada na qualidade de tomates cereja inoculados (*S. Typhimurium*) e não inoculados, os autores avaliaram as concentrações de CO₂ e O₂ nas embalagens durante o armazenamento a 4°C e 20°C, estes observaram que após 9 dias de armazenamento a 20° C a concentração de O₂ diminuiu para 0,58% alcançando condições de anaerobiose.

Segundo Kader (1986) é necessário a manutenção de 1-3% de O₂ para evitar mudança de respiração aeróbia para anaeróbica, pois esta leva a formação e acúmulo de etanol e acetaldeído, os quais são compostos tóxicos que podem desencadear o escurecimento da polpa dos frutos e o desenvolvimento de aroma e sabor alcoólico (SAQUET et al., 2000).

Comparando a técnica de quebra fotocatalítica do etileno utilizada no presente estudo com as tecnologias apresentadas nos trabalhos citados, percebe-se que as técnicas são efetivas no controle da respiração dos tomates cereja, porém apresentam respostas inferiores em relação a fotocatalise mostrada neste trabalho. O processo de quebra fotocatalítica apresentou um menor consumo de O₂ e produção de CO₂ e não propiciou condições de respiração anaeróbica.

4.2.2 Taxa respiratória durante armazenamento

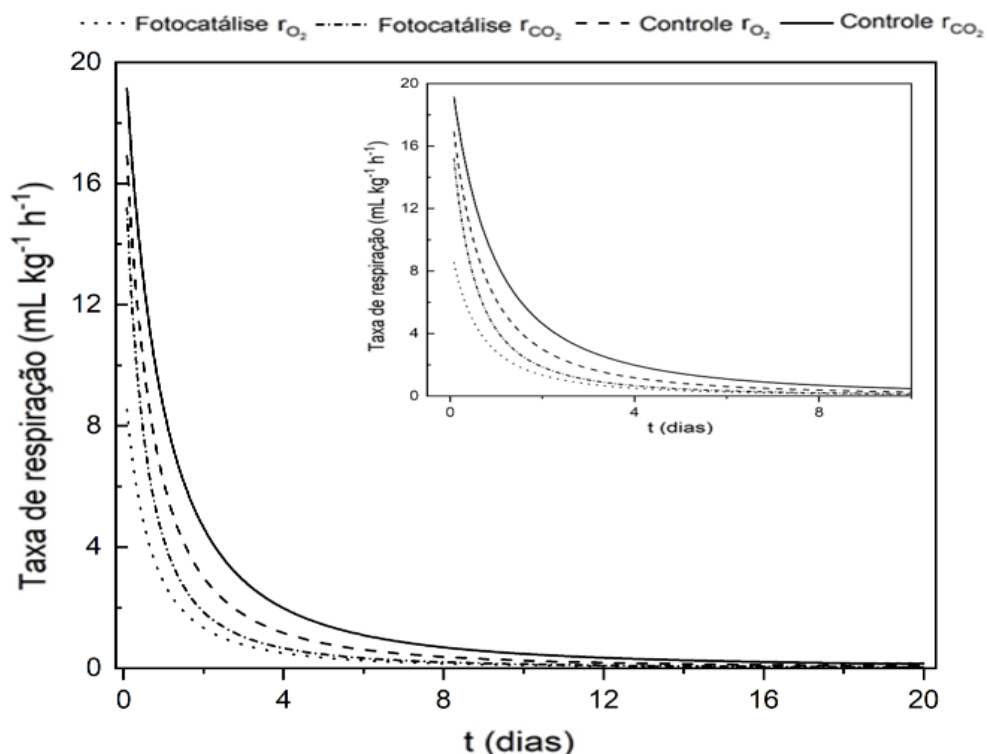
Durante o período de armazenamento os frutos apresentaram o mesmo comportamento obtido durante a quebra fotocatalítica (Figura 9). Os frutos tratados exibiram uma menor taxa de respiração de 15,19 mLCO₂/kg.h e 8,53 mL O₂/kg.h, já para os frutos controle a taxa de respiração foi de 19,13 mLCO₂/kg.h e 16,91 mL O₂/kg.h. Percebe-se no gráfico que o equilíbrio da taxa respiratória foi atingido a partir do 6° dia de armazenamento, sendo esse mantido até o período de 20 dias.

Comportamento semelhante para a taxa de respiração foi observado por Fagundes et al. (2015) para o armazenamento de tomates cereja em embalagens de LDPE/BOPP com atmosfera

modificada (5% de O₂, 5% de CO₂ e 90% de N₂) durante 25 dias a 5°C. Os autores observaram uma alta taxa de respiração nas primeiras horas devido a maior quantidade de oxigênio disponível, porém nas horas seguintes houve uma diminuição da taxa devido a redução da quantidade de O₂ disponível para consumo da fruta. O equilíbrio foi atingido após 100 h de armazenamento e manteve-se constante.

Segundo Sousa et al. (2017) a vida útil dos frutos está diretamente relacionada à taxa de respiração, e quanto mais lenta essa taxa, mais lenta a evolução das células em direção à senescência e a deterioração geral do produto. Sendo assim, a quebra fotocatalítica do etileno interferiu positivamente na taxa respiratória dos tomates, ocasionando um retardamento do amadurecimento e da senescência, mantendo assim a firmeza e as características físico-químicas.

Figura 9 – Taxa de respiração dos tomates cerejas durante o período de 20 dias de armazenamento a 18°C e 85% de UR.



Fonte: Autor (2019).

4.2.3 Produção de etileno durante o armazenamento

Um dos processos metabólicos mais importantes no ciclo de vida dos frutos climatéricos é a produção do etileno (SENHOR, 2009). A presença de etileno é indesejável durante o

armazenamento, pois este compromete a qualidade dos frutos conduzindo-os a senescência (VILAS BOAS, 2002; SENHOR, 2009). No entanto a ausência ou baixa presença desse hormônio vegetal pode atrasar a produção do pico de etileno em frutos climatéricos, adiando o amadurecimento e senescência (PAUL, 2011).

A Figura 10 apresenta os valores encontrados para a produção de etileno dos tomates cereja tratados com quebra fotocatalítica e controle. Analisando os resultados obtidos, temos ao longo das primeiras 24 horas de armazenamento uma produção de etileno de 91,01 nL/g para os frutos controle e de 0,64 nL/g para os frutos tratados. Observa-se que após 48 horas os frutos controle apresentam pico climatérico com produção de 116,72 nL/g, já os frutos com quebra fotocatalítica do etileno apresentaram pico climatérico no 5º dia, com produção de 69,34 nL/g, após o pico climatérico a produção de etileno diminuiu gradativamente. A partir do 9º dia de armazenamento a produção de etileno entrou no equilíbrio, por isso as análises foram realizadas até o 11º dia. A Figura 11 apresenta os recipientes de vidro utilizados para a medição da concentração dos gases durante o período de análise.

Diversas técnicas são utilizadas para regular o efeito da ação do etileno buscando evitar a perda pós-colheita, dentre elas, o uso de ventilação forçada, que reduz as concentrações de etileno, mas nem sempre é suficiente para remover baixos níveis. A utilização de permanganato de potássio que oxida o etileno em CO₂ e água, porém é tóxico e requer substituição contínua. Outro método é a exposição ao ozônio, conhecido como o mais poderoso agente oxidante, no entanto apenas 0,10 ppm de O₃ é considerado aceitável em relação a saúde humana (MANEERAT et al., 2003).

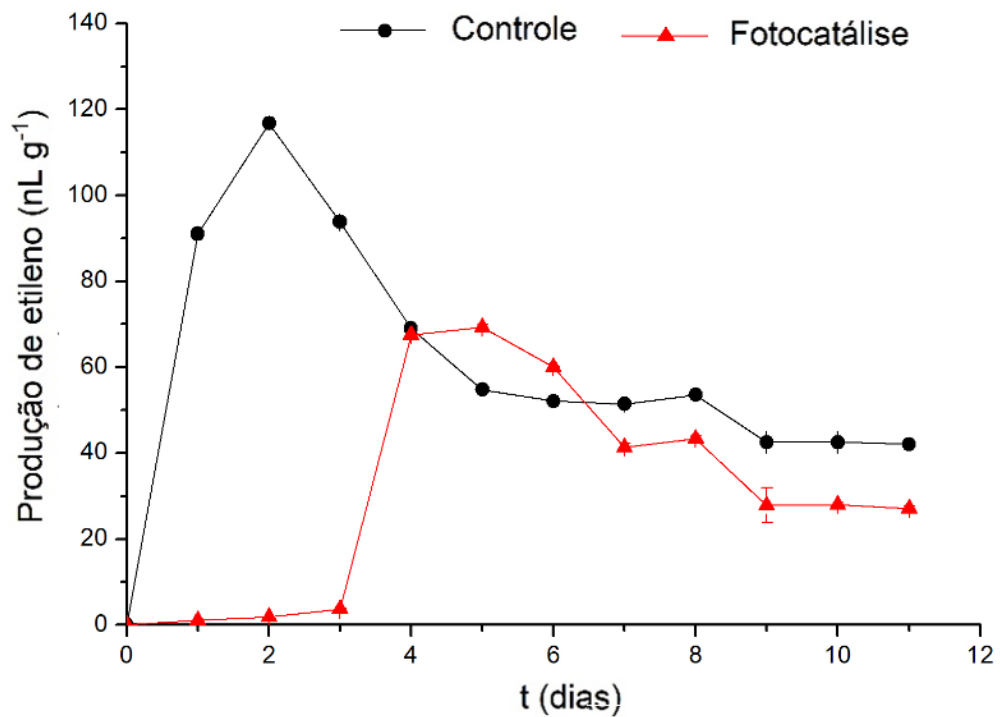
Sendo assim, entre os vários métodos mencionados, o processo de fotocatalise se destaca como uma técnica promissora, buscando prevenir o amadurecimento de frutos com baixo custo, operando a temperatura ambiente e evitando a geração de produtos indesejados.

Maneerat et al. (2003) investigou a eficácia da decomposição do etileno pelo fotocatalisador de TiO₂ durante o armazenamento de tomates cereja por duas semanas a 25°C. Os frutos armazenados com a reação fotocatalítica não apresentaram resposta em relação a mudança de coloração, enquanto os frutos armazenados sem TiO₂ amadureceram ao longo das duas semanas de armazenamento exibindo coloração vermelha. A concentração de etileno para os frutos controle (sem TiO₂) aumentou continuamente atingindo um pico de 10 ppm, enquanto nos frutos tratados o etileno não foi detectado durante o período experimental.

Comportamento semelhante foi observado em nosso estudo, onde os frutos tratados apresentam uma menor produção de etileno quando comparado com os frutos controle, ou seja,

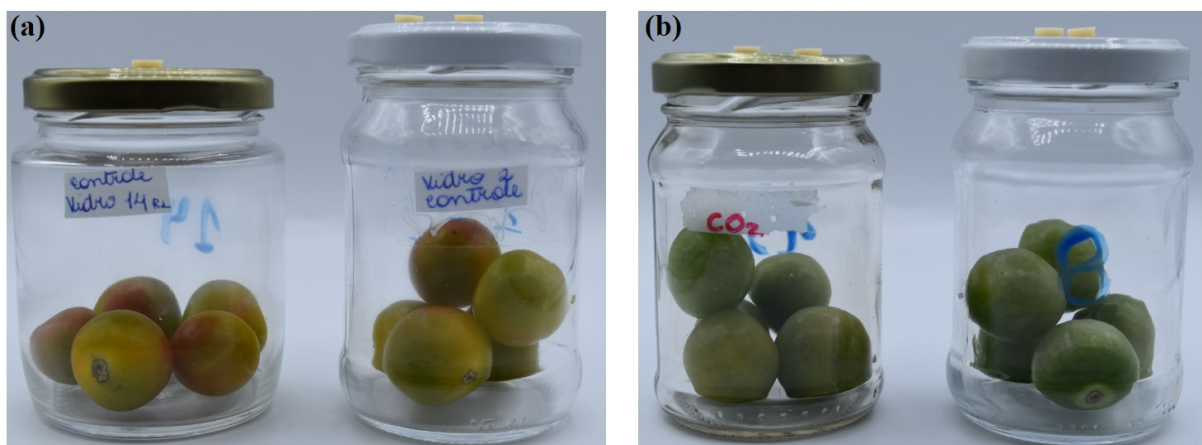
a quebra fotocatalítica do etileno ocasionou um atraso no processo de amadurecimento prolongando a vida útil dos tomates cereja.

Figura 10 – Produção de etileno durante o armazenamento dos tomates cereja controle e com quebra fotocatalítica.



Fonte: Autor (2019).

Figura 11 – Recipientes de vidro utilizados para a medição dos gases durante 20 dias de armazenamento. (a) representa os frutos controle e (b) os frutos tratados com quebra fotocatalítica do etileno.



Fonte: Autor (2019).

4.2.4 Cor

A coloração de frutas e hortaliças é considerada um dos principais critérios avaliados pelos consumidores e sua mudança ocorre de acordo com a maturação, sendo a mudança mais comum o desaparecimento da cor verde para cores variando do amarelo ao vermelho (AWAD, 1993). Os parâmetros de cor obtido para os diferentes graus de maturação dos tomates cereja estão apresentados na Tabela 1.

O parâmetro a^* representa a transição da cor verde para vermelha, antes da quebra fotocatalítica (AF) os frutos apresentaram um valor médio de -16,27 indicativo da coloração verde. Após o processo de quebra e durante o armazenamento observa-se um aumento desse valor tanto para os frutos tratados como controle, indicando uma evolução na maturação. Apesar dos frutos tratados estarem em um estágio de maturação próximo ou igual aos do fruto controle, estes apresentam valores menores, sendo o parâmetro a^* um indicativo da presença de licopeno, tem-se assim um menor teor desse pigmento nos frutos tratados.

Em relação a coordenada L^* , segundo Pádrón-Pereira et al. (2012) quando os pigmentos vermelhos começam a ser sintetizados há uma diminuição dos valores da coordenada L^* , indicando um escurecimento ou redução da luminosidade. No presente estudo isso não ocorreu, os valores de L^* oscilaram durante o período de armazenamento tanto para os frutos tratados como controle, mantendo-se quase sempre acima do obtido antes da quebra fotocatalítica. Percebe-se que apesar de haver escurecimento através do amadurecimento, os frutos preservaram sua luminosidade.

Os valores de b^* indicam forte influência da coloração amarela e a existência significativa de β -caroteno, percebe-se que o parâmetro b^* nos frutos controle aumentam e diminuem conforme os seus graus de maturação, já os frutos tratados apresentam um maior valor quando comparado aos mesmos graus do controle, indicando grande presença de β -caroteno responsável pela cor amarela nos tomates. O croma c^* indica quão pura ou intensa uma cor é, quanto maior esse valor mais saturada e mais intensa a cor se apresenta. O croma foi relativamente superior nos frutos com quebra fotocatalítica quando comparado com os frutos controle, neste caso, a cor se revelou mais intensa nos tomates tratados.

Com base no parâmetro “h” que corresponde a tonalidade média das amostras, quanto maior o ângulo de cor obtido significa que a cor do fruto está mais próxima do amarelo e quanto menor, mais a cor se aproxima do vermelho (BORGUINI & SILVA, 2005). Em comparação com os frutos tratados, o controle apresenta os menores ângulos o que indica que estes estão em um estágio de maturação mais avançado.

Para os tomates cereja tratados e controle a diferença de cor total (ΔE) aumentou para 48,64 e 49,80 após 20 dias de armazenamento. Se compararmos os valores de ΔE nos mesmos graus de maturação ao longo do armazenamento, percebe-se que os tomates controle apresentam uma maior diferença de cor, o que indica que os frutos com quebra fotocatalítica possuem um maior atraso no desenvolvimento da coloração.

Tabela 1 – Coloração dos tomates cerejeira controle (sem tratamento) e tratados com quebra fotocatalítica do etileno.

Controle							
Dias	Estádios	L*	a*	b*	c*	h	ΔE
AF	Grau 1	24,53 ± 1,25	-16,27 ± 0,47	25,41 ± 1,59	30,22 ± 1,50	-57,25 ± 1,41	-
0	Grau 2	32,06 ± 1,92	5,15 ± 0,90	40,48 ± 1,94	40,90 ± 1,96	82,78 ± 1,35	27,25
7	Grau 2	27,55 ± 1,48	6,38 ± 1,08	33,39 ± 2,39	34,14 ± 2,34	79,05 ± 1,83	24,08
	Grau 3	25,29 ± 1,44	19,42 ± 2,36	28,87 ± 3,07	34,99 ± 2,92	55,88 ± 4,30	35,87
14	Grau 3	23,10 ± 1,49	21,09 ± 1,06	24,64 ± 2,24	32,53 ± 1,89	49,26 ± 2,91	37,44
	Grau 4	19,21 ± 0,57	23,54 ± 0,70	20,06 ± 2,63	31,04 ± 2,20	40,00 ± 2,94	40,51
20	Grau 3	41,42 ± 2,69	27,60 ± 1,45	34,20 ± 2,62	44,10 ± 2,77	50,83 ± 1,57	47,81
	Grau 4	37,40 ± 1,97	31,58 ± 1,70	30,43 ± 3,60	44,00 ± 3,21	43,55 ± 3,00	49,80
Fotocatálise							
Dias	Estádios	L*	a*	b*	c*	h	ΔE
AF	Grau 1	24,53 ± 1,25	-16,27 ± 0,47	25,41 ± 1,59	30,22 ± 1,50	-57,25 ± 1,41	-
0	Grau 1	23,83 ± 1,15	-15,57 ± 2,13	28,42 ± 1,89	32,57 ± 1,10	-61,24 ± 4,58	3,17
	Grau 3	27,03 ± 1,67	16,01 ± 2,18	35,40 ± 1,98	39,33 ± 1,91	65,43 ± 3,98	33,88
7	Grau 2	28,01 ± 1,01	6,15 ± 1,50	35,00 ± 1,05	35,71 ± 1,03	80,16 ± 2,51	24,63
	Grau 3	27,66 ± 2,48	13,49 ± 1,85	34,52 ± 3,05	37,36 ± 2,80	68,72 ± 3,89	31,28
14	Grau 2	27,17 ± 1,39	7,39 ± 1,83	33,50 ± 1,47	34,46 ± 1,59	77,74 ± 3,09	25,14
	Grau 3	26,27 ± 1,81	19,36 ± 1,12	29,51 ± 1,89	35,47 ± 1,74	56,65 ± 2,14	35,91
20	Grau 3	45,24 ± 0,90	20,62 ± 2,04	41,00 ± 1,65	46,05 ± 2,01	63,27 ± 2,27	45,10
	Grau 4	39,87 ± 2,38	28,53 ± 1,05	36,54 ± 3,30	46,50 ± 2,79	51,77 ± 2,58	48,64

*AF: Antes da fotocatálise.

Fonte: Autor (2019)

4.2.5 Textura

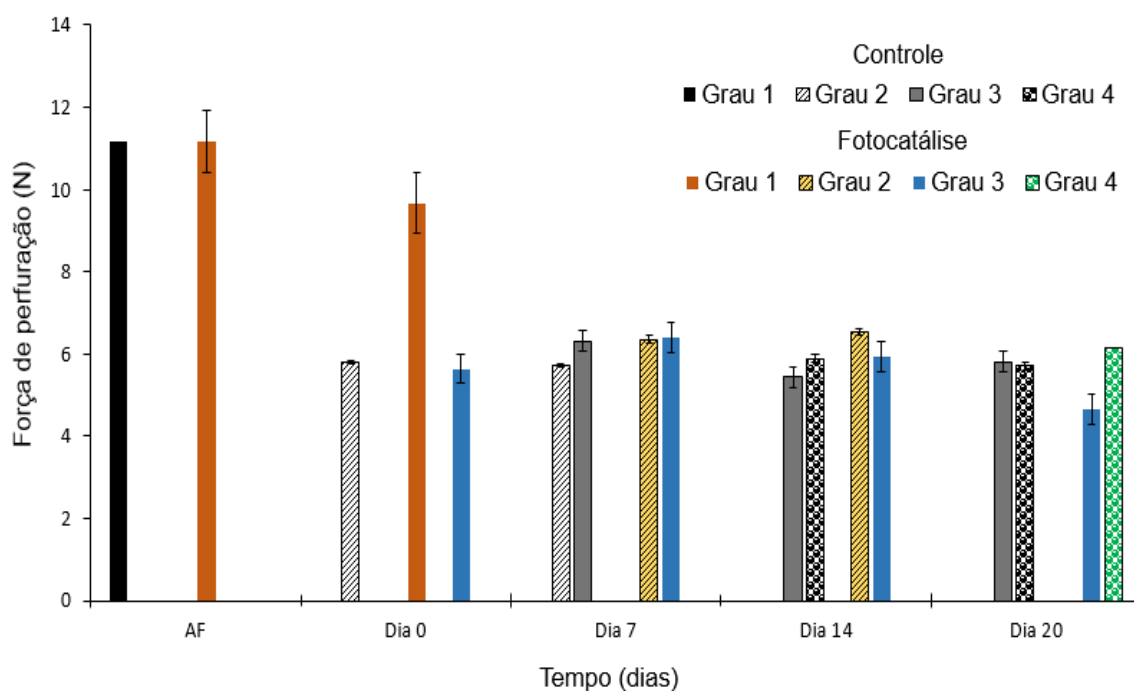
A partir do teste de perfuração foi avaliada a firmeza dos tomates cereja ao longo do período de armazenamento, a firmeza está relacionada com a maturidade dos frutos e pode ser um indicador da vida útil. A Figura 12 apresenta as forças de perfuração dos tomates controle e tratados com o processo de fotocatalise.

Os tomates cereja antes da quebra fotocatalítica (AF) classificados no grau 1, apresentaram valor médio de 11,16 N. Após o processo de quebra fotocatalítica do etileno foi observado valor médio de 5,79 N para os frutos controle com grau de maturação 2. E para os frutos tratados valor médio de 9,67 N e 5,64 N para os graus 1 e 3, respectivamente.

Frutos verdes requerem maior força para serem rompidos, porém ao longo do armazenamento à medida que os frutos vão atingindo a maturidade, as substâncias pécticas da parede celular vão sendo solubilizadas, transformando a pectina insolúvel (protopectina) em pectina solúvel, resultando na perda de firmeza da polpa. Esse amaciamento ocorre devido a diminuição das forças coesivas que mantêm as células unidas, decorrente da decomposição da protopectina através da atividade enzimática (KLUGE & MINAMI, 1997). Esse fato é observado nas amostras estudadas, os frutos sem quebra do etileno apresentaram redução na força de perfuração de 11,16 N para 5,71 (redução de 49%), já os frutos tratados apresentaram alteração de 11,16 N para 6,14 N (redução de 45%), ambos se encontravam no grau 4 de maturação.

Sendo assim é esperado que ao longo do armazenamento ocorra a diminuição da firmeza, como foi constatado nesse estudo. Outros autores também observaram a redução da firmeza de tomates durante o seu amadurecimento (GUILLÉN et al., 2006; De KETELAERE et al., 2006; SCHOUTEN et al., 2007).

Figura 12 – Força de perfuração (N) dos tomates cereja tratados com quebra fotocatalítica do etileno e controle.



Fonte: Autor (2019).

4.2.6 Perda de massa

A perda de massa dos tomates cereja durante o amadurecimento deve-se a dois fatores, a transpiração e a respiração. A transpiração, o maior contribuinte para a redução de peso, é o mecanismo pelo qual a água é perdida devido a diferença na pressão de vapor de água entre a atmosfera circundante e a superfície do fruto, já a respiração causa redução no peso devido à perda de um átomo de carbono cada vez que uma molécula de CO_2 é produzida (BHOWMIK & PAN, 1992).

A Figura 13 apresenta a perda de massa dos tomates cereja com quebra fotocatalítica do etileno e sem (controle) armazenados por 20 dias a 18°C e 85% de UR. Verifica-se que houve um aumento da perda de massa para ambas as amostras, porém os frutos tratados apresentaram uma perda menor de 0,49%, enquanto os frutos controle apresentaram 0,73%. O mesmo foi observado por outros autores (AKBUDAK et al., 2007; SABIR & AGAR, 2011).

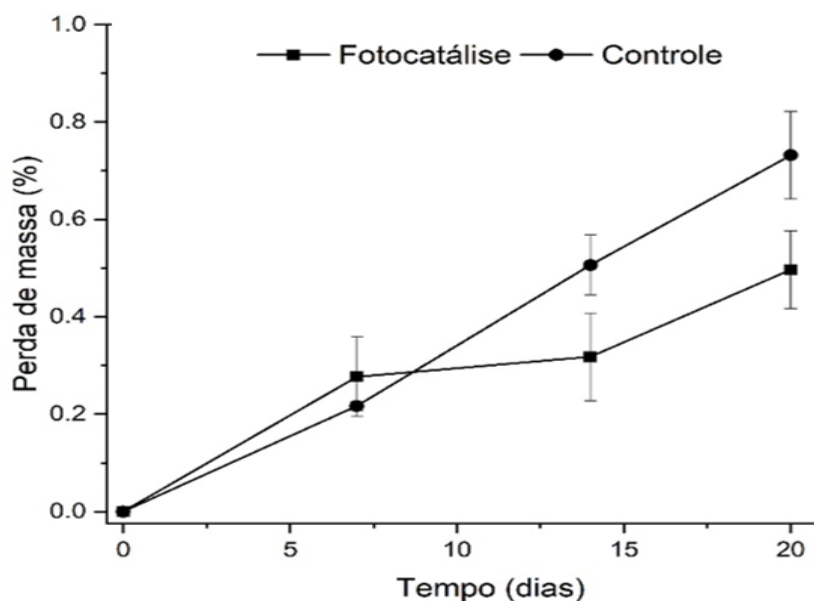
Fagundes et al. (2015) estudando os efeitos na qualidade pós-colheita de tomates cereja armazenados em embalagens de BOPP/LDPE com atmosfera modificada (5% O_2 , 5% CO_2 e 90% N_2) ao longo de 25 dias, relatou o aumento da perda de massa ao longo do armazenamento

tanto para as amostras sob atmosfera modificada como para a controle, 0,26% e 0,18% respectivamente.

O aumento da perda de massa também foi relatado por Kaewklin et al. (2018), em seu estudo tomates cereja foram acondicionados em embalagens ativas de quitosana (CS) e de quitosana contendo nanopartículas de dióxido de titânio (CT). Os autores constataram que os tomates controle apresentaram perda de massa maior que as amostras embaladas por CS e CT, porém entre as amostras embaladas não houve diferença significativa.

Logo percebe-se que as amostras tratadas acondicionadas em embalagens de LDPE/BOPP ocasionaram em uma menor perda de massa, indicando que o uso da embalagem combinada com o tratamento fotocatalítico protegeu os frutos mantendo a umidade do produto, assim como a quebra fotocatalítica retardou a atividade respiratória evitando a perda de massa excessiva durante o armazenamento.

Figura 13 – Perda de massa durante o amadurecimento dos tomates controle e tratados com quebra fotocatalítica do etileno.



Fonte: Autor (2019).

4.2.7 Brix e pH

Os valores médios obtidos para o pH e brix do tomate cereja estão descritos na Tabela 2. Assim como a taxa de respiração e firmeza, esses parâmetros estão relacionados com a senescência dos frutos.

Em relação ao pH das amostras observa-se um aumento ao longo do período de armazenamento, tanto os frutos tratados como controle apresentam um aumento durante a maturação até o 14º dia de armazenamento, com valor máximo de 4,38 para a fotocatalise e 4,47 para o controle, e posteriormente houve uma diminuição dos valores no 20º dia de armazenagem correspondentes aos graus 3 e 4. Um aumento no pH de tomates cereja tratados com diferentes doses de radiação gama e armazenados durante 14 dias a 4°C também foi relatado por Guerreiro et al. (2016). Esse fato é decorrente ao consumo de ácidos orgânicos predominantes na composição do tomate, o que causa um aumento do pH e decréscimo na acidez (AGUIAR et al., 2012).

Dentre esses fatos, os frutos tratados com quebra fotocatalítica ainda apresentam os menores valores, o que pode indicar que essa tecnologia mostrou um efeito positivo sob esse parâmetro de qualidade, mantendo o sabor dos frutos.

Em relação aos sólidos solúveis totais (SST) dos tomates cereja tratados e controle é possível perceber através dos resultados que não houve variação significativa ($p > 0,05$) no decorrer do amadurecimento em ambos os estádios de maturação. Segundo Chitarra & Chitarra (2005) o teor de sólidos solúveis aumenta conforme a maturação devido a biossíntese ou degradação de polissacarídeos. Sammi e Masud (2009) relataram que o teor de sólidos solúveis no tomate aumenta com a cor e a maturidade, e atinge o mais alto valor no estágio vermelho, o que está em total acordo com o resultado obtido nesse estudo.

A quantidade de sólidos solúveis totais no fruto é um parâmetro de grande importância, pois este representa uma das características responsáveis pelo sabor dos tomates. Sendo assim, o processo de fotocatalise preservou esse parâmetro mantendo assim o sabor do tomate ao longo do armazenamento.

Tabela 2 – Dados de pH e Sólidos Solúveis Totais (SST) dos tomates cereja com quebra fotocatalítica de etileno e controle, armazenados a 18°C e 85% UR.

Tempo (dias)	Fotocatálise	Controle
pH		
AF	3,98 ± 0,01 ^{1aA}	3,98 ± 0,01 ^{1aA}
0	4,09 ± 0,07 ^{1,3bA}	4,16 ± 0,02 ^{2bA}
7	4,23 ± 0,02 ^{2,3cA}	4,26 ± 0,03 ^{2,3cA}
14	4,38 ± 0,02 ^{2,3dA}	4,47 ± 0,03 ^{3,4dB}
20	4,20 ± 0,04 ^{3,4cA}	4,26 ± 0,02 ^{3,4cB}
SST		
AF	5,47 ± 0,25 ^{1aA}	5,47 ± 0,25 ^{1aA}
0	5,08 ± 0,21 ^{1,3aA}	5,13 ± 0,12 ^{2aA}
7	5,20 ± 0,08 ^{2,3aA}	5,24 ± 0,45 ^{2,3aA}
14	5,23 ± 0,20 ^{2,3aA}	5,32 ± 0,20 ^{3,4aA}
20	5,34 ± 0,34 ^{3,4aA}	5,37 ± 0,06 ^{3,4aA}

*Letras minúsculas iguais nas colunas e letras maiúsculas iguais na mesma linha para o mesmo parâmetro significam que as amostras não diferem significativamente com base no teste de Tukey ($p > 0,05$).

**1- Grau 1; 2- Grau 2; 3- Grau 3; 4- Grau 4.

***AF: Antes da fotocatalise

Fonte: Autor (2019).

5 CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que o uso da fotocatalise é eficiente para diminuir a taxa de respiração e eficaz na decomposição do etileno produzido pelos tomates cereja, o que ocasiona um atraso na maturação e prolongamento da vida útil desse fruto. As características físico-químicas dos tomates também foram mantidas quando os frutos foram submetidos a quebra fotocatalítica do etileno, os frutos apresentaram menor perda de massa, atraso no desenvolvimento da coloração, menores alterações nos valores de pH e sólidos solúveis totais, assim como também a firmeza foi mantida quando comparado com os frutos controle.

Sendo assim a quebra fotocatalítica por ser uma técnica sem muito custo, tem grande potencial para ser utilizada na manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil dos tomates cereja, porém estudos adicionais são necessários para efetivamente adotar essa tecnologia.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Variar o tempo de quebra fotocatalítica do etileno e avaliar a sua influência no processo de maturação dos tomates;
- Determinar o melhor tempo e temperatura para a aplicação da fotocatalise, associado aos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos;
- Avaliar o efeito da fotocatalise em diferentes estádios de maturação dos tomates cereja;
- Estudar o efeito da fotocatalise usando tomates em diferentes condições de armazenamento e acondicionamento;
- Combinar o processo de fotocatalise com outras tecnologias para prolongar a vida útil.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis. 17 ed. Arlington. v.2, 2005.

AGARWAL, S.; RAO, A.V. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 19, n. 6, p. 739-744, 2000.

AGUIAR, F. P. C.; ABRAHÃO, R. M. S.; ANJOS, V. D. A.; BENATO, E. A. Determinação da vida útil de tomate tipo cereja e ‘Sweet Graep’. Embrapa, 2012. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/eventos/2012/ciic/cd_anais/Artigos/re12218.pdf. Acesso em: 10 de nov. 2019.

AKBUDAK, B.; AKBUDAK, N.; SENIZ, V.; ERIS, A. Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes. *Journal of Food Quality*, v. 30, p. 896-910, 2007.

AKIYAMA, S.; TOGEDA, H. *Hikari shokubai to kanrengijutsu: 21 seikikigyo no technology*. Tokyo, Japan: Nikkankogyo Shimbunsha. 2000.

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 2039-2055, 2002.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, p. 400, 2004.

ALVES, M.J.S **Influência da oxidação fotocatalítica de etileno na maturação e nas propriedades físico-químicas de tomate cereja**. 2019. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

AWAD, M. Fisiologia pós-colheita de frutas. Ed. Nobel, São Paulo, p. 114, 1993.

BASSO, A., MOREIRA, R. F. P. M., JOSE, H. J., Oxidação fotocatalítica de etileno: uma estratégia para a redução do descarte de frutas e hortaliças. IN 6º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, 2018.

BECKER, W. F.; WAMSER, A. F.; FELTRIM, A. L.; SUZUKI, A.; SANTOS, J. P.; VALMORBIDA, J.; HAHN, L.; MARCUZZO, L. L; MUELLER, S. **Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: Epagri, p. 149, 2016.

BHANDE, S.D.; RAVINDRA, M.R.; GOSWAMI. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 116-123. 2008.

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

BODAGHI, H.; MOSTOFI, Y.; OROMIEHIE, A.; ZAMANI, Z.;GHANBARZADEH, B.; COSTA, C.; CONTE, A.; DEL NOBILE, M.A. Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 702-706, 2013.

BORGUINI, R.G.; SILVA, M.V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. **Revista Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, p. 355-361, 2005.

BRECHT, J. K.; RITENOUR, M. A.; HAARD, N. F.; CHISM, G. W. Fisiologia pós-colheita de tecidos vegetais comestíveis. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S. A., Cap. 17, p. 760-805, 2010.

CÁRDENAS-PÉREZ, S.; CHANONA-PÉREZ, J.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J.V.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; LÓPEZ-SANTIAGO, R.; PEREA-FLORES, M.J.; ARZATE-VÁZQUEZ, I. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems Engineering**, v.159, p. 46-58, 2017.

CAMARGO, A. M. M. P.; CAMARGO, F. P.; ALVES, H. S.; CAMARGO-FILHO, W. P. **Desenvolvimento do sistema agroindustrial do tomate**. Informações Econômicas, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 53-58, 2006.

CARVALHO, P.C.; MAURO, M.O.; OLIVEIRA, R.J. Atividade quimioprotetora do Licopeno. *Terra e Cultura*, v. 55, p. 21-28, 2012.

CARVALHO, W.; FONSECA, M.E.N.; SILVA, H.R.; BOITEUX, L.S.; GIORDANO, L.B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 3, p. 819-825, 2005.

CHAWENGKIJWANICH, C.; HAYATA, Y. Development of TiO₂ powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Escherichia coli* in vitro and in actual tests. **International Journal of Food Microbiology**. v. 123, p. 288–292, 2008.

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

DASH, K.K.; RAVINDRA, M.R.; GOSWAMI, T.K. Modeling of respiraton rate of sapota fruit under aerobic conditions. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, p. 528-543. 2007.

DE KETELAERE, B.; HOWARTH, M.S.; CREZEE, L.; LAMMERTYN, J.; VIAENE, K.; BULENS, I.; DE BAERDEMAEKER, J. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 275-284, 2006.

ESPINOZA, W. **Manual de produção de tomate industrial no Vale do São Francisco**. Brasília: IICA, p. 301, 1991.

FAGUNDES, C.; MORAES, K.; PÉREZ-GAGO, M. B.; PALOU, L.; MARASCHIN, M.; MONTEIRO, A. R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 73-81, 2015.

FERNANDES, L. S. **Qualidade pós-colheita de tomates submetidos à esforços de compressão e vibrações mecânicas**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 74, 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. rev. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV. p. 421, 2008.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal Food Engineering**, v. 52, p. 99-119, 2002.

GOULD, W.A. Composition of tomatoes. **Tomato production, processing and quality evaluation**. Avi Publishing Co., Westport, Connecticut, p. 344-358, 1991

GOYETE, B.; VIGNEAULT, C.; RAGHAVAN, V.; CHARLES, M-T. Hyperbaric treatment on respiration rate and respiratory quotient of tomato. **Food and Bioprocess Technology**, v.5, p. 3066-3074, 2012.

GRAY, J.; PICTON, S.; SHABBEER, J.; SCHUCH, W.; GRIERSON, D. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. **Plant Molecular Biology**, n. 19, p. 69–87, 1992.

GUERREIRO, D.; MADUREIRA, J.; SILVA, T.; MELO, R.; SANTOS, P.M.P.; FERREIRA, A.; TRIGO, M.J.; FALCÃO, A.N.; MARGAÇA, F.M.A.; VERDE, S.C. Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 1-9, 2016.

GUILLÉN, F.; CASTILLO, S.; ZAPATA, P.J.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; VALERO, D.; SERRANO, M. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: 2. Effect of cultivar and ripening stage at harvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 42, p. 235-242, 2006.

HAGGER, P.E.; LEE, D.S.; YAM, K.L. Application of an enzyme kinetics based respiration model to closed system experiments for fresh produce. **Journal of Food Process Engineering**, v. 15, p. 143-157. 1992

HU, Q.; FANG, Y.; YANG, Y.; MA, N.; ZHAO, L. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. **Food Research International**, v. 44, p. 1589–1596, 2011.

KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food technology**, v.40, n.5, p.99-104, 1986.

KAEWKLIN, P.; SIRIPATRAWAN, U.; SUWANAGUL, A.; LEE, Y.S. Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 112, p. 523-529, 2018.

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

KELLER, N.; DUCAMP, M.-N.; ROBERT, D.; KELLER, V. Ethylene removal and Fresh Product Storage: A Challenge at the Frontiers of Chemistry. Toward an Approach by Photocatalytic Oxidation. **Chemical Reviews**, v. 113, n. 7, p. 5029–5070, 2013.

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

LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C. Ethylene and fruit ripening. **Physiology Plantarum**, v.101, n. 4, p. 727-739, 1997.

LEVY, J.; SHARONI, Y. The Functions of Tomato Lycopene and Its Role in Human Health. *HerbalGram - Journal of the American Botanical Council*, v. 62, p. 49-56, 2004.

LIU, H.; MENG, F.; MIAO, H.; CHEN, S.; YIN, T.; HU, S.; SHAO, Z.; LIU, Y.; GAO, L.; ZHU, C.; ZHANG, B.; WANG, Q. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits. *Food Chemistry*, v. 263, p. 194-200, 2018.

MACHADO, M.A.R.; OLIVEIRA, G.R.M.; PORTAS, C.A.M. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. **Plant and Soil**, v.255, n.1, p.333-341, 2003.

MADUREIRA, J.; SEVERINO, A.; COJOCARU, M.; GAROFALIDE, S.; SANTOS, P.M.P.; CAROLINO, M.M.; MARGAÇA, F.M.A.; VERDE, S.C. E-beam treatment to guarantee the safety and quality of cherry tomatoes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 55, p. 57-65, 2019.

MAHAJAN, P.V; GOSWANI, T.K. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate of apple. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.79, n.4, p.339-406, 2001.

MANEERAT, C.; HAYATA, Y. Antifungal activity of TiO₂ photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. **International Journal of Food Microbiology**, v. 107, p. 99-103, 2006.

MANEERAT, C.; HAYATA, Y.; EGASHIRA, N.; SAKAMOTO, K.; HAMAI, Z.; KUROYANAGI, M. **Photocatalytic reaction of TiO₂ to decompose ethylene in fruit and vegetable storage**. *Transactions of the ASAE*, vol. 46, n. 3, p. 725-730, 2003.

MARANCA, G. **Tomate: variedades, cultivo, pragas e doenças, comercialização**. São Paulo: Nobel, 3^a ed., 1986.

MATHOOKO, F.M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v.9, p. 247-64, 1996.

MINAMI, K.; HAAG, H.P. **O tomateiro**. 2ª ed. Fundação Cargill, Campinas, São Paulo, 1989.

MORITZ, B.; TRAMONTE, V. L. C. Biodisponibilidade de Licopeno. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, p. 265-273, 2006.

PADRÓN PEREIRA, C.A.; PADRÓN LEÓN, G.M.; MONTES HERNÁNDEZ, A. I.; OROPEZA GONZÁLEZ, R. A. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. **Agronomía Costarricense**, v. 36, n. 1, p. 97-111, 2012.

PAUL, V.; PANDEY, R.; SRIVASTAVA, G.C. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene – An overview. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 1-21, 2011.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216-1217. 1988.

PEREIRA, T.; CARLOS, L.A.; OLIVEIRA, J. G.; MONTEIRO, A. R. Características físicas e químicas de goiaba cv. Cortibel (*Psidium guajava*) estocadas sob refrigeração em filmes X-Tend. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2005.

RAFFO, A.; LEONARDI, C.; FOGLIANO, V.; AMBROSINO, P.; SALUCCI, M.; GENNARO, L.; BUGIANESI, R.; GIUFFRIDA, F.; QUAGLOIA, G. Nutritional Value of Cherry Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) Harvested at Different Ripening Stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 50, p. 6550-6556, 2002.

SABIR, F.K.; AGAR, I.T. Effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packing on postharvest life and quality in tomatoes. **Journal of Food Quality**, v. 34, p. 111-118, 2011.

SAMMI, S.; MASUD, T. Effect of different packaging systems on the quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) fruits during storage. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 44, p. 918-926, 2009.

SAQUET, A.A.; STREIF, J.; BANGERTH, F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in “Conference” pears and “Jonagold” apples during controlled atmosphere storage. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 75, p. 243-249, 2000.

SCHOUTEN, R.E.; HUIJBEN, T.P.M.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN KOOTEN, O. Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 298-306, 2007.

SENHOR, R.F.; SOUZA, P.A.; NETO, R.C.A.; PINTO, A.C. Controle através de bloqueadores de etileno. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.4, p. 15-22, 2009.

SHAMI, N.J.I.E.; MOREIRA, E.A.M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, vol.17, n. 2, p. 227-236, 2004.

SHI, J.; MAGUER, M.L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.40, n. 1, p. 1-42, 2000.

SILVA, J. S.; FINGER, F. L.; CORRÊA, P.C. Armazenamento de frutas e hortaliças. In: Silva, J.S., **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2ª ed. cap. 18, p. 501-538, 2008.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SOUZA, A.R.; OLIVEIRA, J.C.; SOUSA-GALLAGHER, M.J. Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. *Journal of Food Engineering*, v. 206, p. 13-22, 2017.

TORRIERI, E. CAVELLA, S.; MASI, P. Modelling the respiration rate of fresh-cut Annurca apples to develop modified atmosphere packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, p. 890- 899, 2009.

TOSATI, J.V. **Determinação da taxa de respiração de tomate cereja e da permeabilidade à gás de filme comestível a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TOSATI, J.V.; OLIVEIRA, D.; LERIN, L.A.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; MONTEIRO, A.R. Respiration rate of cherry tomatoes and gas permeability of hydroxypropylmethyl cellulose-based coating. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v.5, p. 282-287, 2015.

TRINDADE, M.; MARTUCCI, R.B. Efeitos do licopeno na saúde cardiovascular. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**. vol. 10, n.3, p. 67-73, 2011.

VILAS BOAS, E.V.B. 1- MCP: um inibidor da ação do etileno. In: **Simpósio de controle de doenças de plantas: patologia pós-colheita de frutas e hortaliças**, Lavras, 2002.

YE, S.; ZHENG, S.; SONG, X.; LUO, S. Photoelectrocatalytic decomposition of ethylene using TiO₂/activated carbon fiber electrode with applied pulsed direct current square-wave potential. **Applied Surface Science**, v. 341, p. 61-68, 2015.