

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

GILSON ANTONIO BITENCOURT DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO ÓXIDO DE MANGANÊS AO
PERMANGANATO DE POTÁSSIO NA REMOÇÃO DO ETILENO VISANDO A
PRESERVAÇÃO DE BANANAS PÓS-COLHEITA**

CAXIAS DO SUL

2021

GILSON ANTONIO BITENCOURT DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO ÓXIDO DE MANGANÊS AO
PERMANGANATO DE POTÁSSIO NA REMOÇÃO DO ETILENO VISANDO A
PRESERVAÇÃO DE BANANAS PÓS-COLHEITA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte do requisito para obtenção do
título de Bacharel em Química à Universidade
de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Barcellos da
Silva

CAXIAS DO SUL

2021

GILSON ANTONIO BITENCOURT DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO ÓXIDO DE MANGANÊS AO
PERMANGANATO DE POTÁSSIO NA REMOÇÃO DO ETILENO VISANDO A
PRESERVAÇÃO DE BANANAS PÓS-COLHEITA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte do requisito para obtenção do
título de Bacharel em Química à Universidade
de Caxias do Sul.

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thiago Barcellos da Silva (Orientador)
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Gabriel Fernandes Pauletti
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dra. Eliena Jonko Birriel
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico esse trabalho ao meu pai, que mesmo não estando mais presente, esteve comigo em toda esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a mim mesmo por ser a base das minhas conquistas, por ter sido resiliente e determinado para persistir mesmo nos momentos de dificuldade e nas diversas vezes que pensei em desistir.

Ao professor Thiago Barcelos, pela sua paciência e dedicação na orientação deste trabalho, e aos demais professores que ao longo do curso dedicaram-se para trazer conhecimento e me tornar um profissional preparado para os desafios do mercado de trabalho.

Ao meu sogro Antônio Martins de Fraga e a minha sogra Marli Lumertz Aguiar, pelo apoio incondicional durante todos os momentos de dificuldade e paciência. Sem eles nada disso seria possível.

A todos os amigos e colegas, que diretamente ou indiretamente fizeram parte desta conquista.

Agradeço também a minha querida esposa Samanta Aguiar Fraga, por todas as críticas construtivas no desenvolvimento do trabalho e por todo o carinho e compreensão para comigo durante este período de finalização de curso.

Ciência é isso, se trata do que podemos observar, testar, repetir.

Missa da Meia-Noite (série)

RESUMO

O etileno (C_2H_4) é um composto de origem natural, produzido por frutas e verduras em que possui o papel de um fitormônio, sendo assim o principal responsável pelo processo de amadurecimento. A fim de evitar a senescência precoce de frutas e vegetais no pós-colheita, sequestrantes de etileno são amplamente utilizados por produtores e grandes redes de supermercados. Cada vez mais o consumidor exige qualidade dos produtos adquiridos, sem a adição de conservantes. Obter um método eficaz de conservação saudável se faz necessário para se adequar as demandas do consumidor. Os sequestrantes de etileno estendem a vida útil de produtos frescos e mantem a qualidade original dos alimentos. Atualmente existem vários tipos de inibidores de etileno, como por exemplo sachês de zeólitas, dióxido de titânio, paládio e argilas naturais. Alguns modelos mais recentes de sequestrantes incorporam na embalagem o inibidor de etileno. O sistema mais utilizado para sequestrar etileno de produtos frescos é o permanganato de potássio ($KMnO_4$), devido ao seu custo e a sua comprovada eficácia. Comumente impregnado em uma matriz inerte (suporte sólido), como por exemplo, sachês de gel sílica, carvão ativado, alumina, bentonitas, vermiculitas, montmorillonita e resinas de oxidação de troca iônica. O permanganato de potássio atua como agente oxidante na reação com o gás etileno. Há uma mudança de cor visível de violeta para marrom quando o etileno é oxidado a etileno glicol. Este processo acontece em 3 etapas, tendo primeira oxidação como produto o acetaldeído (C_2H_4O), que na sequência é oxidado a ácido acético e posteriormente oxidado a dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Neste trabalho foram realizados dois ensaios experimentais com bananas (*Musa spp.*) prata e caturra, em atmosferas modificadas com sachês sequestrantes de etileno a base de permanganato de potássio e permanganato de potássio com adição de óxido de manganês. Os dois ensaios tiveram a presença de sachês produzidos para uso comercial, e serviram de base para a confecção dos sachês experimentais. Após o período de armazenamento os testes de teor de sólidos solúveis (SST), acidez titulável (AT), firmeza e perda de massa fresca foram analisadas nos frutos e apresentados na forma discursiva e os dados apresentados em tabelas neste trabalho.

Palavras-chave: Banana, etileno, permanganato de potássio, sachê, sequestrantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferença das respirações climatéricas e não climatéricas	18
Figura 2 – O ciclo de Yang expresso do ponto de vista do aminoácido metionina.....	20
Figura 3 – Mudança na coloração observado ao longo de 90 minutos no conteúdo de sachês comerciais contendo KMnO_4 suportados em material inerte quando expostos a uma atmosfera de etileno.	25
Figura 4 – Forma adequada de utilizar o sachê eliminador em embalagens ativas.....	30
Figura 5 – Valores médios em porcentagem da redução de acidez titulável das diversas frutas utilizadas no estudo, sem KMnO_4 (15-45%) e com KMnO_4 (33-56%)	35
Figura 6 – Mistura obtida a partir da maceração da matriz sólida constituída de sílica e o KMnO_4 como o agente removedor do etileno	41
Figura 7 – Evolução do grupo T1 (controle)	42
Figura 8 – Evolução do grupo T2 (sachê comercial).....	42
Figura 9 – Evolução do grupo T3 (KMnO_4)	43
Figura 10 – Evolução do grupo T4 ($\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2$)	43
Figura 11 – Escala hedônica subjetiva para coloração da casca do fruto de banana.....	44
Figura 13 – Fotografias das etapas de recuperação do material inerte dos sachês removedores e etileno comerciais. Na fotografia da direita o conteúdo dos sachês contendo o material inerte e KMnO_4 , no centro o material inerte em decantação e na esquerda a após a filtração e secagem.	52
Figura 14 – Material inerte macerado com KMnO_4 (esquerda) e o material inerte macerado com KMnO_4 e MnO_2 (direita).....	52
Figura 15 – Bananas submersas em solução de cloro 1% no segundo experimento.....	53
Figura 16 – Fotografias demonstrando a alteração da coloração dos frutos de banana nos 22 dias de ensaio.....	54
Figura 17 – Fotografias representando o ensaio de firmeza demonstrando os frutos após o 22º dia de ensaio sem as cascas (direita), o penetrômetro de bancada (centro) e o ensaio de firmeza.	56
Figura 18 – Testes de pH e titulometria	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos de frutas climatéricas e não climatéricas	18
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Notas de cores atribuídas no 7º e nos 14º dias de ensaio.....	45
Tabela 2 – perda de massa fresca para os frutos empregados no ensaio 1.....	46
Tabela 3 – Resultados da análise de firmeza e valores médios no 15º dia de ensaio.....	47
Tabela 4 – Resultados da análise de sólidos solúveis totais (SST) e valores médios determinados no 15º dia de ensaio.	49
Tabela 5 – Resultados obtidos para a acidez titulável (AT) e pH determinados no 15º dia de ensaio.	50
Tabela 6 – Valores médios da razão SS/AT por grupo	51
Tabela 7 – Notas de cores no dia 9º dia e no 22º dia ao final do ensaio.	54
Tabela 8 – Perda de massa fresca para os frutos empregados no ensaio 2.....	55
Tabela 9 – Resultados da análise de firmeza e valores médios no 22º dia de ensaio e para o fruto verde.....	57
Tabela 10 – Resultados da análise de sólidos solúveis totais (SST) e valores médios determinados no 22º dia de ensaio.	58
Tabela 11 – Resultados obtidos para a acidez titulável (AT) e pH determinados no 22º dia de ensaio.	60
Tabela 12 – Valores médios da razão SS/AT por grupo	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°Bx	grau Brix
ACC	ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico
ACO	ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase
ACS	ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintase
AOA	ácido aminooxiacético
AT	acidez titulável
AVG	aminoetoxivinilglicina
CE	Conformidade Europeia
CFR	Código de Regulamentos Federais
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
GRAS	<i>Generally Recognized as Safe</i>
MCP	metilciclopropeno
OMS	Organização Mundial da Saúde
PE	polietileno
PMF	perda de massa fresca
ppm	partes por milhão
PVC	policloreto de vinila
SAM	S-adenosil-L-metionina
SPS	sacarose fosfato sintase
SST	sólidos solúveis totais
TNT	tecido não tecido
VOCs	compostos orgânicos voláteis

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.	ETILENO	16
2.1.1.	Caracterização da respiração de frutas	17
2.1.2.	Biossíntese do etileno	20
2.2.	ALGUNS INIBIDORES E ADSORVENTES DE ETILENO.....	20
2.2.1.	Permanganato de potássio	23
2.2.2.	Materiais carreadores/substratos inertes	28
2.3.	SACHÊS REMOVEDORES DE ETILENO.....	29
2.4.	QUESTÕES SOBRE A SAÚDE HUMANA.....	30
2.5.	QUESTÕES AMBIENTAIS	32
2.6.	COR DA CASCA.....	33
2.7.	SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST).....	33
2.8.	ACIDEZ TITULÁVEL	34
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1.	PREPARO DOS SACHÊS REMOVEDORES DE ETILENO.....	37
3.2.	ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO EFEITO REMOVEDOR DE ETILENO	38
3.3.	AVALIAÇÃO DA COR DA CASCA	38
3.4.	PERDA DE MASSA FRESCA.....	39
3.5.	FIRMEZA DA POLPA	39
3.6.	SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS.....	39
3.7.	pH E ACIDEZ TITULÁVEL	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1.	PRIMEIRO ENSAIO	40
4.2.	SEGUNDO ENSAIO	51
5.	5 CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

As exigências dos consumidores aumentaram quando se tornaram mais atentos com a saúde e passaram a consumir alimentos mais nutritivos, como frutas e vegetais frescos. Este nível de exigência reflete no quanto estão dispostos a pagar por produtos de qualidade. A luz desta circunstância, a demanda por frutas e vegetais aumentou consideravelmente em todas as estações. As intempéries que rodeiam a capacidade de entregar produtos frescos e de qualidade, como a sazonalidade, exportação e armazenamento prolongado, são verdadeiros desafios (GAIKWAD *et al.*, 2017).

Alguns agentes que transitam sobre qualidade de frutas e vegetais envolvem danos físicos, presença de flora microbiana, perda de água, e falta de controle na temperatura de estocagem. Além do mais, a fruta recém-colhida preserva a sua ação biológica por muito tempo após a colheita, como a respiração e outras atividades metabólicas (GAIKWAD *et al.*, 2017).

Sendo uma fruta climatérica, a banana, é um fruto seriamente perecível. Ela apresenta alta taxa respiratória e elevada produção de etileno, ocasionando o adiantamento dos processos físicos e químicos inerentes as características desejáveis para consumo. O Brasil é o quinto maior produtor de bananas, no entanto tem baixo volume de exportação, principiado pela baixa qualidade nas tecnologias de cultivo, colheita, transporte e armazenamento (SIQUEIRA, 2014).

Conforme Kumar *et al.* (2017) (KUMAR *et al.*, 2017) a disponibilidade da banana e a aceitabilidade durante todo o ano torna-a uma fruta muito importante. O autor também apresenta dados que corroboram com outros estudos que revelam que as perdas no pós-colheita estão entre 20 a 40%, causando grandes prejuízos para distribuidores, produtores e agricultores.

Em 2018 a produção mundial de bananas foi de 127,3 milhões de toneladas, sendo que o Brasil aparece em quarto lugar neste ranking, em que neste mesmo ano foram 6,8 milhões de toneladas. No artigo publicado por Freitas, Godas e Miura (2020), os autores descrevem a seguinte informação sobre o consumo da banana:

A banana tem papel relevante na alimentação da população brasileira. De acordo com a última Pesquisa de Orçamento Familiar, realizada entre 2008 e 2009, a banana liderava a preferência popular dentre as frutas tropicais, sendo que o consumo médio *per capita* foi estimado em 18,6 g/dia (aproximadamente 6,8 kg/ano). Um fato curioso com relação ao consumo *per capita* de banana no Brasil é que o mesmo aumenta conforme avançam as faixas etárias, ou seja, o estudo revelou que os adolescentes consomem em média 15,6 g/dia, e as pessoas de idade chegam a consumir, em média, 29,5 g/dia. Mais recentemente, o relatório da pesquisa VIGITEL, elaborado pelo Ministério da Saúde em 2018, reafirmou que o consumo brasileiro de frutas está, ainda hoje, bem aquém da quantidade recomendada pela Organização Mundial de Saúde (5 porções ou 400 g/dia).

A indústria de alimentos vive uma pressão constante para entregar alimentos à uma nação mundial em crescimento excepcional e precisa cumprir leis e regulamentações rigorosas de segurança alimentar, explicam Janjarasskul e Suppakul (2018).

O aumento expressivo da mídia favoreceu a exigência do cliente por produtos seguros, sustentáveis, orgânicos e saudáveis. Sob essa ótica, a utilização de embalagens ativas tem sido praticada comercialmente pelas indústrias alimentícia, produtores e distribuidores como um recurso para estender a vida útil e se adequar aos padrões de qualidade, em uma tentativa de eliminar por inteiro a necessidade de conservantes nas formulações de alimentos. Esta ação permite aplicações restritas de embalagens de alimentos que proporcionam comodidade, melhorando significativamente a qualidade e ainda traz novos recursos de *marketing* para a indústria de alimentos (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2018).

O etileno apressa a deterioração das frutas e vegetais e frequentemente eleva o estado de maturação, podendo chegar, conforme às condições na qual se encontra o fruto, à decomposição, reduzindo a validade na prateleira e causando perdas. É por este motivo que existem objetivos ascendentes para a conservação por períodos maiores da qualidade dos alimentos e a diminuição dos danos aos alimentos, tanto para a segurança na ingestão quanto para os benefícios econômicos do ciclo comercial. Assim sendo, o emprego de inibidores de síntese de etileno ou sequestrantes para atrasar o amadurecimento de alimentos perecíveis, como frutas e vegetais, é fundamental na prevenção pós-colheita, conforme Pathak *et al.* (2017).

Diversos estudos analisaram e comprovaram a eficiência no desempenho de conservação de frutas climatéricas com sachês à base permanganato de potássio atrelado a uma atmosfera modificada no pós-colheita.

Em razão desta, o presente trabalho tem a finalidade de verificar os efeitos já citados na literatura do permanganato de potássio na senescência de frutos e observar os efeitos do óxido de manganês como aditivo no sachê tradicional de permanganato.

1.1. OBJETIVO GERAL

Investigar o efeito da adição do óxido de manganês ao permanganato de potássio buscando o aumento da eficiência no processo de remoção do etileno produzido por frutas climatéricas e assim reduzir o processo de amadurecimento de frutas e vegetais entre o período pós-colheita e consumo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) investigar o efeito sinérgico da adição do dióxido de manganês ao permanganato de potássio na remoção do etileno produzido em bananas;
- b) avaliar o efeito de sachês contendo permanganato de potássio e permanganato de potássio contendo o óxido de manganês como aditivo frente o efeito de sachês comerciais na preservação de bananas, como modelo de frutas climatérica, por um período de 15 dias e em temperatura ambiente;
- c) a partir dos ensaios avaliar os parâmetros como coloração da casca, firmeza, perda de massa, acidez titulável e teor de sólidos solúveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ETILENO

O etileno (C_2H_4) é o exemplo mais simples da classe dos alcenos e é encontrado como um produto natural e frutos e vegetais. Este composto volátil é um importante hormônio vegetal, ou seja, fito hormônio que é produzido por plantas superiores e que, por sua vez, induz os mecanismos fisiológicos, como por exemplo, amadurecimento, senescência, dormência e floração das plantas, de acordo com Zhu *et al.* (2019), Gaikwad *et al.* (2017) e Singh, Gaikwad e Lee (2018).

O etileno cumpre uma função dupla na pós-colheita, por um lado, deixa o fruto ideal para consumo, ou seja, faz com que o alimento assuma características organolépticas, como por exemplo a cor ou o sabor. Porém, é o agente responsável pelo envelhecimento dos tecidos, gerando efeitos adversos no que tange o conceito de qualidade para os seres humanos (BAPAT *et al.*, 2010).

A inclusão de métodos como a refrigeração, o uso de atmosferas controladas e modificadas, aplicação de cálcio, entre outros, só são possíveis pelo conhecimento adquirido ao longo do tempo sobre o mecanismo de atividade do etileno. Apesar de serem uma frente muito grande na redução de efeitos desfavoráveis do etileno, essas tecnologias e procedimentos quando comparadas aos prolongadores de maturação químicos, se mostram pouco eficientes na manipulação do amadurecimento e envelhecimento das frutas, vegetais e até mesmo de flores (PALIYATH *et al.*, 2008).

A banana, a qual foi a fruta escolhida como modelo para os ensaios apresentados neste trabalho, durante o armazenamento pode apresentar três fatores influenciam na perda de firmeza decorrente do amadurecimento. Conforme García, Balaguera-López e Herrera (2012), estes efeitos são causados pela degradação do amido, aumento do teor de sólidos solúveis (SST) na polpa, solubilização de substâncias pécticas e perda de água. Estudos corroboram que o principal motivo do amolecimento em frutos de banana são modificações na pectina decorrente de ação enzimática, porém não se sabe a relação de intensidade dessas enzimas com a casca do fruto. Esta atividade enzimática é diretamente relacionada ao estado de maturação, e por conseguinte, aos níveis de etileno na atmosfera entorno da banana.

Para preservar a qualidade das frutas *in natura*, da colheita até o consumo, os efeitos do etileno devem ser minimizados, seja pela contenção na produção do regulador de crescimento, ou pela remoção efetiva do etileno para suprimir os seus efeitos. Já está bem

estabelecido que o etileno estimula a deterioração e a senescência do produto no pós-colheita. Desta maneira, as técnicas de controle do etileno são, por conseguinte, a solução mais comum, e de certa forma prática, para a preservação da qualidade (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2018).

Na prática, as circunstâncias de armazenamento encontradas para o estudo da remoção de etileno em atmosfera modificada levam em conta alguns fatores, como, temperatura, umidade relativa, concentração de etileno e composição atmosférica com a provável frequência de compostos orgânicos voláteis (KELLER *et al.*, 2013).

Para iniciar a respiração climatérica e estimular o amadurecimento, o efeito do etileno endógeno fabricado naturalmente pelas plantas, pode ser absorvido pelo suprimento exógeno. Ambas as fontes de etileno, iniciam o processo de autocatálise da síntese deste fito hormônio pelos frutos. A precipitação do amadurecimento dos frutos considerada pela taxa respiratória e mudança de cor da casca confirma o fato de que o etileno causa adiantamento da fase climatérica, sobretudo se estiverem próximos de outros frutos que o libera (ÁLVARES, 2003).

Além disso, os eliminadores de C_2H_4 parecem ser uma ferramenta promissora para minimizar a necessidade de refrigeração e, portanto, reduzir o consumo de energia (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

2.1.1. Caracterização da respiração de frutas

Conforme pesquisas realizadas sobre as condições ideais para o armazenamento de maçãs, foi identificado um aumento abrupto na respiração dos frutos durante o amadurecimento, este aumento foi denominado climatério. Com o passar do tempo, porém, foi observado que nem todos os frutos apresentavam esse aumento na respiração durante a maturação, é o caso da laranja e do limão (BRON; JACOMINO, 2007).

A fase climatérica frequentemente corresponde com o calor dissipado da respiração e transformações rápidas associadas ao amadurecimento, destacam-se as principais, como, mudanças de cor, amolecimento, aumento da permeabilidade do tecido e desenvolvimento de aromas característicos. No momento em que a fruta climatérica começa a amadurecer, muito pouco pode ser feito, exceto comercializá-la para consumo rápido (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2018).

Desde então, se estabeleceu a classificação dos frutos de acordo com suas atividades respiratórias e produção de etileno após a colheita, tornando-se climatéricos e não-

climatéricos. Exemplos de frutas dentro dessas classificações podem ser Exemplos de frutas nessa classificação são apresentadas no Quadro 1 (HU *et al.*, 2019; WEI *et al.*, 2021).

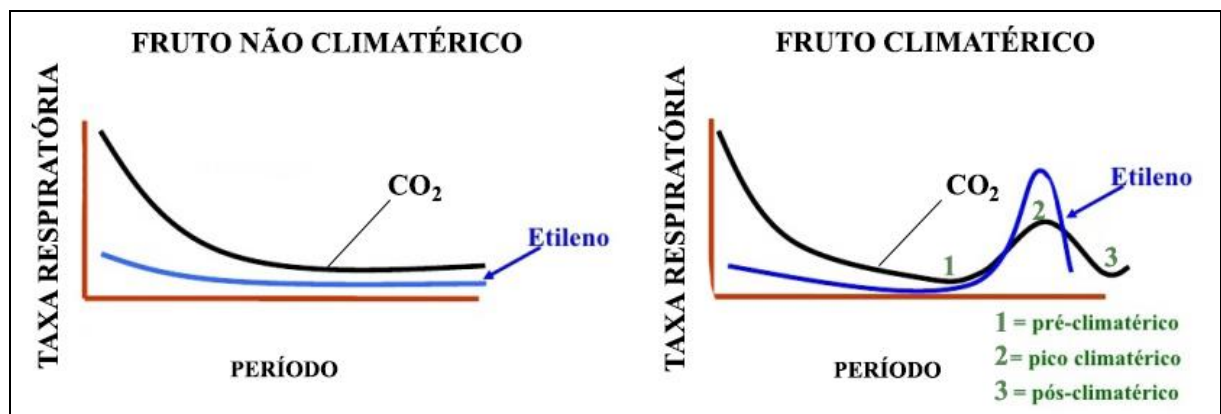
Quadro 1 – Exemplos de frutas climatéricas e não climatéricas

Climatéricos	Não-climatéricos
Maçã	Pepino
Kiwi	Caqui
Pêra	Laranja
Melão	Cenoura
Maracujá	Repolho
Damasco	Brócolis
Banana	Aipo
Manga	Feijão
Nectarina	Berinjela
Mamão	Cereja
Pêssego	Uva
Ameixa	Abacaxi
Tomate	Pimenta

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Além de tudo, como demonstrado na Figura 1, as frutas climatéricas apontam um pico na taxa respiratória e geração de etileno durante o processo de amaduramento e são capazes de amadurecer mesmo após a colheita, enquanto as frutas não climatéricas não mostram qualquer pico na respiração (WEI *et al.*, 2021).

Figura 1 – Diferença das respirações climatéricas e não climatéricas



Fonte: adaptado de Wei *et al.* (2021).

As distinções entre os dois tipos de frutas, climatéricas e não climatéricas serão discriminadas em 3 partes, a fim de ilustrar o processo de respiração. No primeiro momento toma-se por definição que as frutas climatéricas contêm o Sistema I e o Sistema II, ao passo que as frutas não climatéricas apenas produzem etileno pelo intitulado Sistema I. O Sistema II produz mais etileno sob várias ordens de importância, incluindo um tempo relativamente mais curto do que algumas variedades do Sistema I devido a seu processo autocatalítico. Em segundo lugar, as frutas climatéricas e não climatéricas apontam pequena diferença durante a fase de desenvolvimento, produzindo apenas traços de etileno. Contudo, durante o período de inteira maturação, a quantidade de etileno compostas pelas frutas climatéricas se sobressai das frutas não climatéricas (WEI *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2016).

A última parte desta explicação, diz que, o etileno exógeno, aquele do ambiente, só é eficiente na primeira etapa da reação para a fruta climatérica, o que acarreta o aumento da respiração e à autocatálise do etileno endógeno, aquele presente no interior da fruta. Esta reação é irreversível, mesmo após a retirada do etileno exógeno o índice de respiração do fruto não pode alcançar o nível anterior. Nas frutas não climatéricas, o etileno exógeno pode reagir com os receptores de etileno nos estágios iniciais e finais (WEI *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2016).

No momento em que o etileno exógeno é removido, a respiração regressa ao nível de processamento. Resumidamente, ampliando a concentração de etileno exógeno, o tempo de ocorrência da reação respiratória no fruto do climatério progride, mas a intensidade do pico respiratório mantém-se inalterada. Para frutas climatéricas, a alteração na concentração de etileno progride com o passar do tempo em uma escala logarítmica de respiração. Todavia, para frutas não climatéricas, o acréscimo da concentração de etileno exógeno pode beneficiar a intensidade respiratória, mas não o tempo do pico respiratório (WEI *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2016).

Para Li *et al.* (2019) a causa central da degeneração de frutas e vegetais são as mudanças bioquímicas compelidas pelo etileno, inclusive quando estão em baixas temperaturas.

Neste contexto, precisamos manter uma visão periférica da função do etileno; simultaneamente, delinear o plano mais apropriado para o manuseio do etileno para ampliar, com qualidade, a vida útil na estocagem e transporte pós-colheita das frutas e vegetais e reduzir os prejuízos pós-colheita, conforme Wills e Golding (2015) e Wei *et al.* (2021).

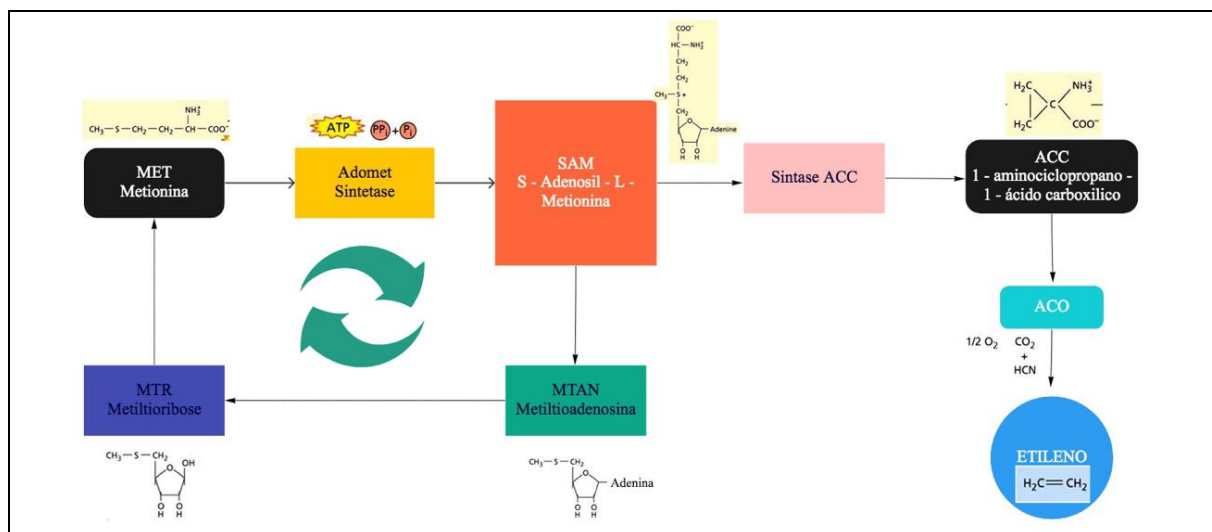
Em estudos feitos por Vilela *et al.* (2018), os autores pontuaram ser primordial para manter os alimentos frescos a gestão dos níveis de etileno atmosférico no decurso do

transporte, armazenamento e manuseio. Propondo melhorar a qualidade e aumentar a vida útil e frutas e vegetais.

2.1.2. Biossíntese do etileno

O etileno é sintetizado a partir do aminoácido metionina, conforme ilustrado na Figura 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Primeiro, ocorre a conversão da metionina em S-adenosil-L-metionina (SAM) catalisada pela enzima SAM sintetase. Em seguida, ocorre a formação do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), a partir da SAM e catalisada pela enzima ACC sintase (ACS). Por fim, a conversão da ACC em etileno, o qual é catalisada pela ACC oxidase (ACO). A metionina é reutilizada no ciclo “Yang”, produzindo grande quantidade de etileno sem a necessidade de altos níveis de metionina intracelular (BALAGUERA-LÓPEZ *et al.*, 2015).

Figura 2 – O ciclo de Yang expresso do ponto de vista do aminoácido metionina



Fonte: adaptado de Bapat *et al.* (2010)

2.2. ALGUNS INIBIDORES E ADSORVENTES DE ETILENO

Após a colheita, a qualidade da maioria dos produtos frescos não pode ser melhorada, mas apenas mantida. Estratégias para manter a qualidade e, com isso, reduzir as perdas após a colheita incluem combinação de gerenciamento de temperatura, controle de umidade, atmosfera adequada e gerenciamento do etileno (BALAGUERA-LÓPEZ *et al.*, 2015).

Os retardadores de amadurecimento químicos são conhecidos como inibidores da síntese de etileno, e compreendem produtos como a aminoetoxivinilglicina (AVG), o ácido aminooxiacético (AOA), o 1-metilciclopropeno (1-MCP) e os sais de prata (nitrato e tiosulfato de prata) (SEREK *et al.*, 2006). Outro conjunto são os oxidantes de etileno ou sequestrantes de gás etileno, sendo o permanganato de potássio (KMnO_4) o composto frequentemente empregado para este propósito, e a solução mais efetiva, segundo Wills e Warton (2004) e Balaguera-López *et al.* (2015). Existem vários tipos de oxidantes de etileno além do permanganato de potássio, como por exemplo o gás ozônio (O_3) e o dióxido de titânio (TiO_2), de acordo com Kim, Jeong e Kim (2019) e Wei *et al.* (2021).

O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um inibidor da ação do C_2H_4 que atua bloqueando os receptores de C_2H_4 da fruta. Como um combatente eficaz ao C_2H_4 , o 1-MCP foi, em vários países, reconhecido como uma ferramenta útil da indústria agroalimentar. Porém, existe algumas restrições no seu uso, por exemplo, ele só pode ser corretamente usado em certos produtos hortícolas, dado que distúrbios patológicos e fisiológicos como, lesões relacionadas ao CO_2 e problemas relacionados ao frio podem ser desenvolvidos em frutas não climatéricas e climatéricas após exposição ao 1-MCP (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Segundo Kim, Jeong e Kim (2019), uma fonte de eliminação de etileno na preservação de frutas com alto poder de oxidação é o ozônio. Porém tem altos níveis toxicidade e se decompõe facilmente na presença de oxigênio. A Equação 1 representa a equação química para a decomposição do etileno pelo gás ozônio.



A Agência Federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, que regulamenta alimentos e medicamento, a FDA (do inglês: *Food and Drug Administration*) possui uma designação para produtos químicos ou aditivo alimentar é considerado seguro para o consumo. Essa designação é indicada como “geralmente reconhecido como seguro” ou GRAS (do inglês: *Generally Recognized As Safe*). Independente do gás ozônio (O_3) ser considerado como um aditivo alimentar seguro, conforme o GRAS (PATHAK, 2018), se torna altamente difícil de manejar em decorrência de sua decomposição na presença do oxigênio (O_2), de acordo com Janjarasskul e Suppakul (2017) e Kim, Jeong e Kim (2019). Atualmente, existem estudos sobre a unificação do ozônio e do tratamento com o 1-MCP para estender a qualidade das frutas no pós-colheita.

A fotocatalise é outro meio para decompor o etileno. Segundo o estudo feito por Kim, Jeong e Kim (2019) utilizando nanocompósitos de platina (Pt) suportados em zeólitas, resultados satisfatórios foram obtidos ao atrasar a senescência de tomates. O dióxido de titânio (TiO_2) é um material semicondutor típico e um dos fotocatalisadores mais populares para degradação do etileno (WEI *et al.*, 2021). Mesmo o paládio (Pd) e dióxido de titânio (TiO_2) sendo materiais catalíticos que podem remover de forma eficaz o etileno, são abordagens com um custo-benefício duvidoso pois, o Pd é caro, e a reação entre TiO_2 e C_2H_4 é dependente da luz ultravioleta o que pode tornar inviável seu uso comercial em alguns casos por não ser tão lucrativo (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Foi observado que o emprego de embalagem de PE lacrada gera um sistema de armazenamento com baixo índice de interação com o oxigênio, desempenhando um obstáculo para a perda de umidade na atmosfera fechada. Um dos resultados da modificação da atmosfera da embalagem reflete na síntese de etileno, pois, este fito hormônio estimula os processos implicados ao amadurecimento dos frutos, dentre eles, o aumento na taxa respiratória. Dado que sua síntese necessita de oxigênio, a redução do mesmo na atmosfera modificada influencia na produção endógena de etileno (FALCÃO *et al.*, 2017).

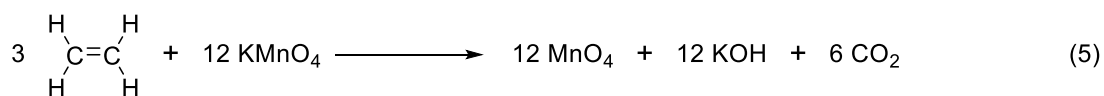
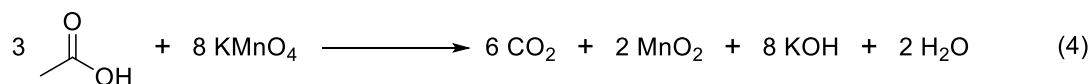
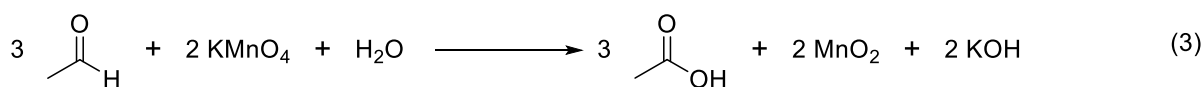
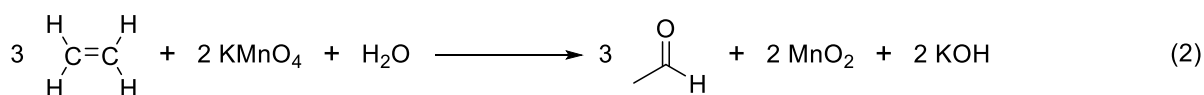
Estudos mais recentes com sachês à base de carvão ativado junto com vários catalisadores de metal, como por exemplo o paládio, e produtos químicos inorgânicos do tipo bromo também atuaram para remover efetivamente o etileno por adsorção e posteriormente degradação catalítica do etileno no carvão ativado. Uma perspectiva nova e auspiciosa para a embalagem de remoção de etileno foi proposta usando a reação de *Diels-Alder* de demanda inversa de elétrons. Essa técnica é baseada na reação irreversível e específica entre dienos ou trienos deficientes em elétrons, preferencialmente tetrazina, e incorporada em filme plástico hidrofóbico permeável ao etileno que não contém grupos hidroxila, como policarbonatos de silicone, poliestirenos, polietileno e polipropilenos e etileno (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2018).

Outra forma de retardar o amadurecimento de frutos são os revestimentos com tratamentos químicos formando uma película protetora. Silvério e Tadini (1997) usaram imersão de bananas em um banho contendo uma solução de éster de sacarose, buscando resultados acerca da qualidade do fruto após esse tipo de tratamento. Os resultados demonstram efetividade nesta prática nos diferentes cenários analisados.

2.2.1. Permanganato de potássio

Diferente da embalagem tradicional, apenas empregada para conter parte da respiração das frutas, a embalagem ativa é projetada para buscar uma modificação dinâmica da atmosfera. Embora a ideia de atmosfera modificada para commodities frescas não seja nova, a mesma ganhou notoriedade nos últimos anos. Segundo Álvarez-Hernández *et al.* (2019), o acondicionamento ativo com ferramentas eliminadoras de etileno foi descrito como uma tecnologia emergente. Atualmente, a estratégia mais empregada para este fim é o uso da substância oxidante permanganato de potássio (KMnO_4) (Kim, Jeong e Kim, 2019), o qual é suportado em um material inerte poroso com alta área superficial, aumentando assim a superfície de contato do gás etileno com o KMnO_4 . Segundo Wills e Warton (2004) a capacidade do permanganato de potássio de remover o etileno da atmosfera em torno dos produtos hortícolas foi demonstrada pela primeira vez por Forsyth, Eaves e Lockhart (1967) utilizando maçãs.

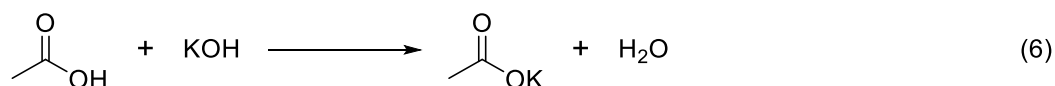
O KMnO_4 é um sólido de coloração púrpura, termicamente estável, e que possui como característica o forte poder oxidante, removendo assim o etileno pela reação de oxidação do etileno, resultando em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Segundo Keller *et al.* (2013), as seguintes reações de oxidação estão envolvidas do processo de oxidação, com a formação dos intermediários acetaldeído e ácido acético (Equações 2, 3 e 4), sendo a equação global representada pela Equação 5.



As reações acima, representadas pelas Equações 2, 3 e 4, ocorrem-na presença de água, o qual também está presente na atmosfera que envolve os frutos frescos. Como

resultado o KMnO_4 é reduzido ao MnO_2 , o qual pode ser observado pela mudança na coloração característica do KMnO_4 para marrom (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2018).

O hidróxido de potássio gerado como produto pode ser facilmente neutralizado na presença do ácido acético gerado como intermediário levando assim a formação de água (Equação 6).



O KMnO_4 é geralmente empregado na forma de manta, tubo ou de sachê de alta permeabilidade para ser colocado dentro da embalagem ou em depósitos (WILLS; WARTON, 2004). Esta atividade do KMnO_4 limita os níveis de etileno na atmosfera e por consequência, sensibiliza os processos inerentes do etileno durante o amaduramento (SAMMI; MASUD, 2007).

Conforme a reação avança, uma mudança gradual de cor de roxo para marrom escuro ocorre porque o ânion permanganato MnO_4^- é reduzido em dióxido de manganês MnO_2 . Este fenômeno pode ser claramente observado na Figura 3, que demonstra a mudança de coloração do KMnO_4 suportado em um material inerte quando exposto a um fluxo de ar (120 mL min^{-1}) enriquecido com etileno (5000 ppm) à temperatura de 22°C . As mudanças na cor que ocorrem no material ao longo do tempo são consideradas um fator indicativo de degradação do etileno (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Figura 3 – Mudança na coloração observado ao longo de 90 minutos no conteúdo de sachês comerciais contendo KMnO_4 suportados em material inerte quando expostos a uma atmosfera de etileno.



Fonte: Álvarez-Hernández *et al.* (2019).

Estudos têm relatado a eficácia do uso do KMnO_4 em retardar o amadurecimento de frutas climatéricas como manga (BALAGUERA-LÓPEZ *et al.*, 2015), (BALAGUERA-LÓPEZ *et al.*, 2015), maçã (AMARANTE; STEFFENS, 2009), bananito (SALAMANCA; BALAGUERA-LÓPEZ; HERRERA, 2014), mamão (SILVA *et al.*, 2010) e em frutas não climatéricas, como por exemplo o morango (WILLS; KIM, 1995).

Para Wills e Warton (2004), ainda que, encontrem-se muitos ensaios com o uso do permanganato de potássio no pós-colheita, as informações quanto a concentração de etileno que pode oxidar com KMnO_4 não são precisas.

Conforme as pesquisas realizadas por Balaguera-López *et al.* (2014), vários autores concordam que o KMnO_4 diminui a taxa respiratória, perda de peso e produção de etileno dos frutos como o tomate conforme Sammi e Masud (2007) e mamão (SILVA *et al.*, 2010). No mesmo estudo foi constatado na literatura a concordância entre autores sobre o KMnO_4 diminuir o amolecimento e aumentar a vida pós-colheita de várias espécies de frutas.

Contudo, para Amarante e Steffens (2009), o índice de emissão de etileno é geralmente maior que o da taxa de oxidação.

Outro estudo utilizou tomates no seu ensaio com KMnO_4 como composto oxidante. Os tomates foram colhidos a temperatura ambiente e embalados com polietileno (PE) junto com o tratamento de KMnO_4 . Neste contexto, Sammi e Masud (2009) demonstraram que o permanganato de potássio coopera para a produção de CO_2 e água na atmosfera modificada, o que auxilia a diminuir o processo de respiração do fruto.

Como diversas vezes ao longo do tempo o sachê a base permanganato fica saturado, um dos maiores desafios relacionados ao KMnO_4 é como conservar sua efetividade. Até o presente momento, em frutos com alta produção de etileno e por períodos mais longos de armazenamento, o sachê a base de permanganato precisa ser substituído para manter o resultado desejado (PATHAK *et al.*, 2017).

Atualmente, diversos removedores de etileno a base de KMnO_4 estão disponíveis comercialmente. Álvarez-Hernández *et al.* (2019) especularam em seu trabalho, os degradantes de C_2H_4 comerciais, são desenvolvidos em diferentes formas como, grânulos, grânulos cilíndricos e irregulares e pó contendo de 3,5 a 12% em massa de KMnO_4 .

Consoante com as informações disponíveis, os produtos atualmente comercializados têm capacidade absorvente de etileno na ordem de 3 a 6,5 L kg^{-1} . Também existem alguns produtos comerciais à base de KMnO_4 , como Bi-On® SORB (*Bioconservacion SA*, Barcelona, Espanha), Chemisorbant (Purafil, Inc., Doraville GA, EUA), MM-1000 MULTI-MIX® MEDIA (*Circul-Aire Inc.*, Montreal, Canadá) e Sofnofil™ (*Molecular Products Limited*, Essex, Reino Unido) que não se limitam apenas à remoção de etileno, mas são comercializados como materiais de controle de contaminação de amplo espectro para purificação de ar em aplicações industriais, abrindo o leque comercial deste produto para o *health care*, que é um nicho novo e muito promissor (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

No trabalho feito por Silva *et al.* (2010) com mamão da variedade Golden, também foi verificada a eficiência do KMnO_4 . No ensaio os frutos ficaram armazenados por 15 dias, com e sem a presença do sachê absorvedor, e a uma temperatura de 20 °C. Os frutos que estavam na presença do sachê contendo KMnO_4 apresentaram melhor aparência externa quando comparados aos que permaneceram na ausência do sachê. Após os frutos serem desembalados, e os sachês removidos, os frutos foram analisados diariamente por mais 5 dias. Nesses 5 dias subsequentes ao armazenamento, os frutos que estavam na atmosfera modificada, alcançaram resultados melhores nos testes realizados.

Falcão *et al.* (2017) trabalharam com duas variedades de bananas, armazenadas com e sem refrigeração, em sistema de atmosfera modificada e utilizando sequestrante de etileno a base de KMnO_4 . Neste estudo foi avaliado a qualidade dos frutos quanto as perdas de massa fresca, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e a relação SS/AT. Os resultados confirmam o retardamento de amadurecimento dos frutos sujeitos a atmosfera modificada com sachê sequestrante e observado que, independentemente das condições temperatura, os frutos não apresentam perdas de massa significativas.

Na revisão feita por Balaguera-López *et al.* (2014), apontam-se dados de trabalhos sobre bananas expostas ao tratamento com KMnO_4 a cerca de resultados de AT, SST e SST/AT, em que fica registrado que após o tempo de armazenamento, a AT não sofre grandes alterações comparadas ao início do período de testes e diminui a taxa de aumento dos sólidos solúveis totais (SST), devido à diminuição da atividade da enzima sacarose fosfato sintase (SPS) (CHOUDHURY; ROY; SENGUPTA, 2009). Além do mais, o KMnO_4 diminui a razão de maturidade (SST/ATT) em maçãs (AMARANTE; STEFFENS, 2009) e bananas (GARCÍA *et al.*, 2012).

Em seu trabalho Wills e Warton (2004) realizaram um experimento para observar o efeito do permanganato sobre o etileno revelando dados úteis acerca de suas concentrações. O experimento teve como base um sistema de escoamento que envolveu a passagem do gás etileno com um fluxo de $14 \mu\text{L h}^{-1}$ através do recipiente.

A remoção de 90% do etileno por 75 g de absorvente equivale, portanto, à oxidação de $12,6 \mu\text{L h}^{-1}$. A taxa de produção de etileno por produtos hortícolas varia amplamente com produtos não climatéricos geralmente gerando etileno a $<1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 20°C , enquanto frutas climatéricas pré-climatéricas frequentemente geram etileno com taxas entre 1 e $10 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Isso significa que para produtos mantidos a 20°C em uma atmosfera de 90% UR e gerando etileno a $1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 6 g de absorvente são necessários por 1 kg de produto e assim reduzir a concentração de etileno em 90%, enquanto 60 g de absorvente por kg de produto são necessários quando o etileno é gerado a $10 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. O uso de um absorvente de permanganato de potássio, portanto, parece ser um acréscimo viável a embalagens de produtos com baixo nível de produção de etileno. A adequação para um pacote de 20 kg de produto gerando etileno a $10 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ é questionável, pois seria necessário 1,2 kg de absorvente (WILLS; WARTON, 2004).

Álvarez-Hernández *et al.* (2019) constataram na literatura que é possível retardar a perda de firmeza da polpa de frutos de marmelo, mudança de cor e acúmulo de β -caroteno usando 2,5 g de KMnO_4 por kg de fruto durante 150 dias a 0°C (85-95% UR). No entanto,

foi possível manter uma maior firmeza do fruto do marmelo quando 5 g de KMnO_4 por kg foram usados. Porém, as doses adequadas de degradante de etileno variam dependendo do produto hortícola. Dessa forma, a dose de permanganato necessária para atingir uma diminuição interessante na concentração de C_2H_4 ligado a um aumento na vida útil das commodities depende principalmente da produção de etileno do produto em questão, como também da capacidade de absorção de etileno do sachê utilizado.

De outro ponto de vista, tanto a produção de etileno quanto a sensibilidade de etileno do produto são influenciadas principalmente pelo estágio de maturidade, características de embalagem como, concentrações de $\text{O}_2/\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ e condições de armazenamento (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

No experimento realizado por Silva *et al.* (2010), foi relatado que o mamão 'Sunrise Golden' pode ser conservado em boas condições por até 25 dias em 10 °C (85-95% UR) empregando um sachê de vermiculita impregnado com KMnO_4 contendo aproximadamente 1,7 g de KMnO_4 por kg de fruta dentro da embalagem.

García, Balaguera-López e Herrera (2012) apontaram o KMnO_4 como uma estratégia viável e de baixo custo para reduzir os níveis de etileno. Além disso, sondaram a problemática de alguns frutos climatéricos como maçã, melão e tomates em relação ao agente oxidante por serem frutos muito densos e por isso dificultam a difusão para o exterior do etileno produzido, o que dificulta o potencial absorvedor do sachê removedor.

Contudo, o permanganato de potássio deve ser impregnado a um material carreador, um veículo de transporte inerte, para manter a sua eficiência. Esse veículo inerte tem a intenção de gerar um adsorvente sólido que amplie a área de contato, pois existem apenas duas forças atenuantes para que ocorra o contato do etileno com o adsorvente, que são: a difusão natural e a convecção do ar na atmosfera em questão (WILLS; WARTON, 2004).

2.2.2. Materiais carreadores/substratos inertes

Os bons resultados com os capturadores de etileno a base de KMnO_4 no pós-colheita, também dependem de outros fatores, como por exemplo, a espécie, condições de armazenamento, transportador inerte e embalagens do produto (BAL; CELIK, 2010).

O permanganato de potássio impregnado em dois tipos de matrizes inertes foram empregados como reagentes na degradação do etileno no experimento realizado por Kumar *et al.* (2017). Foram comparados a eficácia do talco [$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$ – hidróxido de silicato de magnésio] e caulim [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ – silicato de alumínio hidratado) como materiais de

transporte. Os resultados são consideravelmente parecidos entre ambos os carreadores, apresentando boas características de interesse nos testes com o armazenamento de bananas (KUMAR *et al.*, 2017).

As matrizes inertes além de carregar o composto oxidante como o KMnO_4 , também são um reforço na expansão da superfície de contato com o gás etileno. Spricigo *et al.* (2017) externaram um complexo de sequestro de etileno nanoestruturado com base em nano partículas de sílica e alumina embebido com KMnO_4 , que se valeu da mudança de cor natural do permanganato ao ser oxidado, como um indicativo da degradação do etileno. Quando o etileno gasoso interage com o permanganato, este assume uma cor voltada para o marrom ao invés do seu estado natural da cor púrpura. O autor reitera o alto poder oxidante do permanganato no formato de sachês eliminadores de etileno no decorrer da estocagem de tomates em condições de armazenamento de 5 a 6 °C.

Tirgar, Han e Steckl (2018) relataram a eficiência e uma membrana formada por nano fibras de alumina como transportadores de permanganato de potássio. O estudo revela que a membrana com ampla área de superfície oxidou 73% do etileno em menos de meia hora, e sua alta taxa de absorção de etileno é capaz de permanecer por um longo intervalo de tempo.

Segundo Janjarasskul e Suppakul (2017) e Pathak (2018) a ampla superfície típica dos materiais permeáveis que acomodam KMnO_4 , não apenas atinge bons resultados na degradação de etileno, como também, traz benefícios na remoção de subprodutos indesejáveis.

Alguns dos materiais carreadores mais aplicados são as zeólitas, vermiculita, alumina e perlita (WILLS; WARTON, 2004). Esses materiais inertes, quando de menor densidade, possuem maior região de contato e com isso maior é a competência de absorção de KMnO_4 e, como efeito, melhora a eficiência na redução das taxas de etileno.

2.3. SACHÊS REMOVEDORES DE ETILENO

Em uma caixa com sistema de remoção de etileno (Figura 4), um sachê ou vários, conforme a necessidade do produto, é colocado dentro da embalagem de frutas e vegetais, geralmente na parte superior da embalagem. Sobre a posição do sachê dentro da embalagem, Álvarez-Hernández *et al.* (2019) chegaram à conclusão de que a posição mais adequada para anexar um sachê sequestrante dependerá da densidade do composto gasoso a ser esfregado ou liberado, respectivamente.

Como o gás etileno tende a subir para o topo da embalagem porque é relativamente menos denso ($1,16 \text{ g cm}^{-3}$) que o ar ($1,20 \text{ g cm}^{-3}$), a 22°C e 1 atm, logo, a parte superior da embalagem aparentemente é a posição mais adequada para anexar um sachê removedor de etileno. É por esta razão que o material do sachê, aquele que acomoda o agente oxidante, necessita ser demasiadamente permeável à molécula de gás etileno, possibilitando a captação de etileno da atmosfera dentro da embalagem.

Alguns materiais de sachê mais usados e relatados na literatura são polietileno (PE), pano de musselina ou celulose. Na maior parte dos casos, os compostos de embalagem ativos comercialmente disponíveis, como produtos à base de KMnO_4 , são tipicamente embalados em sachês de filme termo soldados, isto é, PE de alta densidade que atende às regulamentações dos EUA e da União Europeia para aplicações em contato com alimentos (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Figura 4 – Forma adequada de utilizar o sachê eliminador em embalagens ativas



Fonte: (MORAIS, 2015)

2.4. QUESTÕES SOBRE A SAÚDE HUMANA

Vilela *et al.* (2018) destacam a existência de muitos produtos comerciais a base de KMnO_4 para tornar ativas as embalagens, e aponta que no mercado europeu essa prática está começando a aumentar. Gaikwad *et al.* (2017) observam que este comportamento de lentidão no uso desta técnica é refletido pelo pouco conhecimento do consumidor e por uma legislação ainda muito rígida.

Álvarez-Hernández *et al.* (2019) atribuem em seu trabalho algumas ressalvas no uso do permanganato de potássio com base na literatura e organizações de registro de compostos químicos, os autores informam que ainda há preocupação de uma possível migração do agente oxidante para o produto, não obstante o fato de os absorvedores de etileno a base de permanganato de potássio serem convencionalmente dispostos em dispositivos individuais e lacrados para manter os consumíveis livres de contágio e impedir riscos à saúde humana atrelados a envenenamento por KMnO_4 .

Não é aconselhado o agente oxidante ter contato direto com produtos frescos ou incorporado em superfícies de contato com os comestíveis da embalagem devido à sua alta toxicidade e cor roxa profunda característica, com a chance de se deslocar para o produto em armazenado, de acordo com Yildirim *et al.* (2018) e Wei *et al.* (2021).

Sobre esta ótica, é inteiramente aconselhável, principalmente em relação aos KMnO_2 não diluído e em soluções concentradas, evitar a exposição direta ao permanganato de potássio. Além do mais, como classificado pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, que estabelece critérios harmonizados para classificar substâncias e compostos com relação aos perigos físicos, para a saúde e para o meio ambiente, que o KMnO_4 pode ser nocivo ao ser humano se ingerido sob o código H₃₀₂ (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Conforme a pesquisa feita por Álvarez-Hernández *et al.* (2019), está bem registrado que o risco por intoxicação por KmnO_4 não é comum, sendo por volta de $142,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (10 g de KmnO_4 para uma pessoa com massa corporal de 70 kg) a dose letal para adultos.

Segundo esta pesquisa do IPCS (1981), o KMnO_4 não está listado na Organização Mundial de Saúde (OMS), classificações de perigo agudo. Algumas utilizações em baixas concentrações em soluções altamente diluídas são destinadas ao KMnO_4 , como medicamento antisséptico e antifúngico e está incluído na Lista de Medicamentos Essenciais da OMS. Também está regulamentado como aditivo alimentar indireto pela *Food and Drug Administration* (FDA) sob o Código de Regulamentos Federais (21 CFR §175.105 2018) (IPCS, 1981).

Os autores desta pesquisa descrevem de forma sucinta informações pertinentes ao estado legal deste composto, que, os requisitos gerais da FDA dos EUA para aplicações de contato com alimentos também são estabelecidos através do Código de Regulamentos Federais (21 CFR §177.1520 2018 e 21 CFR §177.2010 2018), enquanto a União Europeia tem requisitos específicos relacionados a embalagens ativas e não -partes ativas que são regulamentadas pelo Regulamento 1935/2004/CE e pelo Regulamento 450/2009/CE. E

informam que, o Regulamento 450/2009/CE estabelece uma base jurídica para a segurança e comercialização de embalagens ativas (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019). Contudo, seguindo as boas práticas laboratoriais e com base em toda informação adquirida sobre este composto, traz a conclusão de que produtos à base de KMnO_4 devem ser manuseados com cuidado e responsabilidade.

2.5. QUESTÕES AMBIENTAIS

Algumas particularidades do permanganato de potássio proporcionam uma abordagem sustentável e o fizeram ser eleito como um principal oxidante verde na química orgânica. Dado que, os produtos inorgânicos (particularmente o MnO_2) podem ser reoxidados em permanganato. Tornando ecologicamente correto o processo de oxidação do KMnO_4 (SHAABANI; MIRZAEI; LEE, 2004). No entanto, em qualquer condição que se encontre o permanganato e seus compostos, devido ao seu alto poder oxidante, traz à tona uma preocupação ambiental.

Segundo Álvarez-Hernández *et al.* (2019) o KMnO_4 , se tratando de um oxidante verde, é largamente utilizado na indústria agrícola, na purificação do ar removendo poluentes como compostos orgânicos voláteis (VOCs), na indústria têxtil como intermediário para branqueamento, em pesticidas como agente antimicrobiano e no tratamento de água para remover poluentes.

Contudo, por ser normalmente empregado em grande escala para aplicações de tratamento de água este é regulamentado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019). Grandes doses são capazes de ser prejudiciais à vida aquática, assim sendo, produtos à base de KMnO_4 devem ser evitados de serem difundidos no meio ambiente para evitar que cheguem a corpos d'água como lagos e rios, solos e redes de esgoto.

Outro parâmetro a ser levado em conta, é que, o KMnO_4 pode aumentar a combustão de outras substâncias e da mesma forma liberar gases irritantes ou tóxicos em um incêndio, sendo assim, produtos à base de KMnO_4 devem ser armazenados, descartados e separados de substâncias redutoras, inflamáveis e combustíveis (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Para Shaabani, Mirzaei e Lee (2004), quando o KMnO_4 é carregado em uma matriz inerte, o processo de reoxidação do MnO_2 mencionado anteriormente é interferido, e como demonstrado na equação 4 (Eq. 4) gera subprodutos não tóxicos e quimicamente inertes que

não representam uma preocupação ambiental e podem ser descartados como resíduos normais.

Álvarez-Hernández *et al.* (2019) concluíram que, os sequestradores de etileno à base de KMnO_4 podem ser considerados uma ferramenta ambientalmente correta que pode ser usada na tecnologia de embalagem ativa de produtos como frutas e vegetais, com manuseio adequado e medidas de segurança pertinentes.

2.6. COR DA CASCA

A primeira avaliação que o consumidor faz dos alimentos é por meio das cores e isso influencia muito o cliente na hora de escolher de um produto. A cor, além da associação natural com a qualidade, afeta as características palpáveis e a aceitabilidade do produto, posto que a mudança de coloração da casca de verde para amarelo é utilizada como um guia aproximativo do estágio de amadurecimento no caso de bananas, conforme Mesquita, Teixeira e Servulo (2017) e Falcão *et al.* (2017).

Atribuindo-se a sensação da cor como um quesito de valor na motivação do consumidor de alimentos, acha-se difundido o conceito de que os carotenoides são efetivamente saudáveis por serem compostos naturais ricos em duplas ligações conjugadas atuando, por seu efeito antioxidante, na destruição de radicais livres. Deve ser levado em conta que, em temperaturas elevadas a degradação da clorofila pode ser suprimida, mas a polpa amadurece rapidamente produzindo frutos “verde- maduros”, ou seja, com a casca verde e polpa madura. O detrimento da cor verde depende de um ou vários fatores agindo em sequência para destruir a estrutura da clorofila. Os principais agentes responsáveis por esta degradação são a variação de pH devido à quebra de ácidos orgânicos do vacúolo, sistemas oxidativos e clorofilases (ÁLVARES, 2003).

2.7. SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST)

Como já mencionado em diversos estudos, no amadurecimento, os frutos apresentam transformações na cor, textura, sabor e aroma. Essas mudanças perceptíveis aos sentidos humanos são acompanhadas por mudanças na composição. Álvares (2003) relata em sua pesquisa que a banana verde contém teores de açúcar que variam de 1 a 2% e a banana

madura de 15 a 20%, podendo chegar a 27%. Esses valores têm variância conforme a cultivar e a região.

Álvares (2003) pinça na literatura uma falta de conexão, durante o período de senescência e quantidade de amido a ser degradado, visto que um fruto com menor taxa de amido requereu um tempo similar para amadurecer quanto ao fruto com maior percentagem. É neste contexto que se encontram as divergências referentes a diferentes taxas metabólicas, produção de etileno e ligação com outros hormônios.

Siqueira (2014) aborda um ponto de vista voltado para a indústria e descreve que dentre os componentes existentes nos frutos, os sólidos solúveis totais exercem relevante participação em sua qualidade. Confirmando com a literatura que os sólidos solúveis interferem nas propriedades físicas, químicas e biológicas das frutas, sendo um fator importante na qualidade final de produtos industrializados, pois, quanto maior o teor de sólidos solúveis existentes, menor será a adição de açúcar em frutos processados pela indústria.

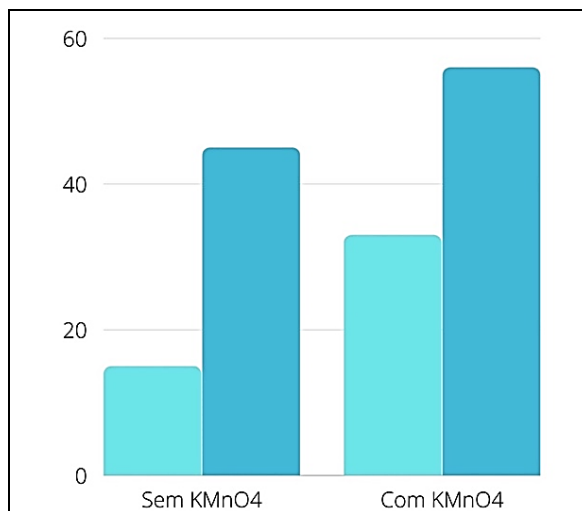
Portanto, o aumento dos teores de açúcar juntamente com a mudança suave na textura deixa o fruto da bananeira mais agradável ao paladar, trazendo qualidade e melhor comerciabilidade, de acordo com Siqueira (2014) e Viviani e Leal (2007).

A relação entre os valores de sólidos solúveis totais e a acidez titulável (SST/AT) é outro parâmetro utilizado na avaliação da maturidade comercial de frutos, por refletir o balanço entre os açúcares e os ácidos, muito importante e apreciado nos frutos; uma das formas mais utilizadas para avaliação do sabor (FALCÃO *et al.*, 2017).

2.8. ACIDEZ TITULÁVEL

Resultados obtidos por Köstekli *et al.* (2016) envolvendo diversas frutas climatéricas conservadas a 4 °C e na presença de sachê absorvedor a base permanganato, revelou que após 25 dias há uma diminuição nos valores da acidez titulável, como representado na Figura 5. Comprovando a eficácia do sachê removedor impregnado com permanganato de potássio na preservação do ácido ascórbico e sua ação antioxidante.

Figura 5 – Valores médios em porcentagem da redução de acidez titulável das diversas frutas utilizadas no estudo, sem KMnO_4 (15-45%) e com KMnO_4 (33-56%)



Fonte: Köstekli *et al.* (2016).

Segundo Siqueira (2014) a acidez total titulável e pH diminuem com a maturação dos frutos. Porém, a banana é uma exceção, onde os níveis mais altos de AT são adquiridos com o amadurecimento completo dos frutos. As condições que se encontram e a qualidade da banana influenciam na sua acidez. Esta pesquisa também considera que a redução de ácidos orgânicos na polpa é devido ao consumo elevado dos ácidos como fonte de energia pela respiração.

Estes dados corroboram com a pesquisa feita por Álvarez-Hernández *et al.* (2019), que as alterações de AT e SST são diferentes dependendo das características do produto. Sendo assim, a literatura aponta que os fatores AT e SST tendem a aumentar ao longo do período de armazenamento da banana.

Enquanto isso, García, Balaguera-López e Herrera (2012) expuseram que o SST aumentou enquanto o AT tende a diminuir durante o período de armazenamento de banana. Além disso, a relação SST/AT tende a aumentar na banana durante o armazenamento, mas informaram que a referida tendência de aumento foi reduzida na banana, quando as mesmas foram expostas ao removedor de etileno a base de KMnO_4 . Concomitante a esses estudos, foi observado que as mudanças no AT e SST podem ser retardadas pela incorporação de materiais à base de KMnO_4 em pacotes de banana, independentemente de o AT e o SST tenderem a aumentar ou diminuir.

Gaikwad, Singh e Negi (2019) pontuam categoricamente sobre as ressalvas para escolher o melhor sistema de conservação de frutos contra os efeitos nocivos do fito hormônio etileno.

O removedor de etileno contendo embalagens ativas é um caminho futuro promissor para o crescimento de embalagens de produtos frescos altamente sensíveis ao etileno. Confirma-se que o uso de removedor de etileno na embalagem pode estender a vida útil e manter a qualidade física do produto in natura. Consequentemente, a aplicação paralela de vários tipos de sistema de eliminação de etileno incorporados na forma de filme não apenas satisfaz as demandas dos consumidores para substituição de conservantes sintéticos e plásticos, mas também traz efeitos de proteção mais fortes do excesso de etileno nos produtos frescos. Na hora de escolher o sistema de sequestro de etileno adequado ou forma de embalagem para a regulação do gás etileno, é fundamental conhecer as características fisiológicas do produto in natura. No entanto, o crescimento e a aplicação de embalagens eliminadoras de etileno dependerão da aceitação e do custo-benefício para produtores de hortifrutigranjeiros, indústria de processamento e consumidores. Portanto, um esforço extra deve ser focado em superar as limitações tecnológicas e os altos custos relacionados a essas tecnologias, que têm sido os principais fatores que inibem uma implementação mais abrangente e o desenvolvimento de aplicações comerciais adicionais para materiais de eliminação de etileno nas indústrias de processamento e embalagem de alimentos (GAIKWAD; SINGH; NEGI, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Caxias do Sul (UCS), no Laboratório de Biotecnologia de Produtos Naturais e Sintéticos (LBIOP) e no Laboratório do Estudo do Sistema Solo Planta Atmosfera.

As amostras de banana cultivar prata (*Musa sapientum* L.) e cultivar Cavendish (banana caturra, *Musa acuminata*), ambas pertencente ao grupo AAA, foram adquiridas em uma rede de supermercados no município de Caxias do Sul em estado de maturação verde, com nota 1 na escala de cores (Figura 11). Os frutos foram selecionados cuidadosamente, descartando àquelas com defeitos ou injúrias.

3.1. PREPARO DOS SACHÊS REMOVEDORES DE ETILENO

No primeiro ensaio de avaliação de remoção de etileno foi utilizado sílica (SiO_2) como material inerte e adsorvedor. Os sachês contendo apenas KMnO_4 como agente ativo foi preparado a partir das quantidades equivalente a 1 g de KMnO_4 e 5 g de SiO_2 por sachê. A mistura foi macerada com o auxílio do grau e pestilo até a formação de um sólido homogêneo. Já para a mistura contendo como agente ativo o KMnO_4 e MnO_2 foram utilizadas as massas equivalentes de 0,8 g de KMnO_4 , 0,2 g de MnO_2 e 5,0 g de SiO_2 por sachê.

As misturas, com uma massa total de 6 g por sachê, foram transferidas para um sachê confeccionado em material TNT.

Para o segundo ensaio, foi utilizado como material inerte o material oriundo de sachês comerciais. Para isso, o conteúdo de sachês comerciais foi lavado com água destilada para a remoção do KMnO_4 . O material não solúvel foi decantado e lavado novamente. O procedimento foi repetido até que a solução não apresentasse mais a coloração rósea, característica da presença de KMnO_4 . O sólido foi seco e utilizado diretamente no preparo dos sachês.

Para o preparo dos sachês contendo apenas KMnO_4 e material inerte foi adicionado ao grau as quantidades equivalentes a 1 g de KMnO_4 e 5 g de material inerte por sachê. A mistura foi macerada até a formação de um sólido homogêneo.

Para o preparo dos sachês contendo KMnO_4 e MnO_2 como agentes ativos e material inerte foram utilizadas as massas equivalentes de 0,8 g de KMnO_4 , 0,2 g de MnO_2 e 5,0 g de material inerte por sachê. A mistura foi macerada até a formação de um sólido homogêneo.

As misturas, com uma massa total de 6 g por sachê, foram acondicionadas em sachês fabricados com papel filtro.

3.2. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO EFEITO REMOVEDOR DE ETILENO

Inicialmente, a penca foi dividida nos respectivos frutos (dedos) com corte no meio do pedúnculo. Os frutos foram selecionados cuidadosamente, descartando àquelas com defeitos ou injúrias. Após, os frutos foram higienizados com uma solução 1% de hipoclorito de sódio. Para isso, os frutos foram mergulhados na solução e permanecendo por 10 minutos. Após, as bananas foram lavadas com água destilada e secas com papel toalha.

Os frutos foram acomodados em bandejas de poliestireno com dimensões de 21 cm de comprimento, 14 cm de largura e 1,7 cm de altura. Os frutos foram acomodados no centro das bandejas e respectivos sachês foram acomodados na lateral do fruto, sem que houvesse o contato. As bandejas foram embaladas com plástico filme e então acomodadas em uma câmara de experimentação climatizada com temperatura oscilante de 14 °C a 24 °C pelo período de 15 (ensaio 1) ou 22 dias (ensaio 2).

Para os ensaios foi designada aos seguintes códigos:

T1 – Tratamento controle. Sem a presença de sachês;

T2 – Tratamento na presença de um sachê comercial;

T3 – Tratamento com sachê formulado com KMnO_4 e material inerte, e;

T4 – Tratamento com sachê formulado com KMnO_4 e MnO_2 e material inerte.

O Ensaio 1 foi realizado no período de 16/09/2021 a 01/10/2021. Já o ensaio 2 foi realizado no período entre 13/10/2021 a 04/11/2021.

Após o respectivo período dos ensaios, as amostras foram removidas da câmara de experimentação, e analisadas.

3.3. AVALIAÇÃO DA COR DA CASCA

Para inferir o grau de amadurecimento das amostras, foi avaliada a coloração da casca empregando a escala hedônica com notas de 0 a 7.

3.4. PERDA DE MASSA FRESCA

A perda de massa fresca (PMF) foi obtida a partir da variação de massa dos frutos antes de serem embalados e logo serem desembalados. Para isso, a massa dos frutos foi determinada em uma balança analítica (Marte AS1000C), com precisão 0,1 g. O percentual de perda de massa fresca foi determinado a partir da Equação 1.

$$PMF = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (6)$$

em que:

PMF: Perda de massa fresca

M_i : massa inicial

M_f : massa final

3.5. FIRMEZA DA POLPA

Os ensaios de firmeza foram realizados com o auxílio de um penetrômetro de bancada, Fruit Hardness Tester 20 kg mrc FR-5120, e os resultados expressos em Newton (N);

3.6. SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados em um refratômetro manual de ajuste automático de temperatura, *Pocket Atago*, com escala de 0 a 53% expressos em graus Brix (°Bx) (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008).

A polpa de cada amostra foi esmagada e em seguida espremida através de um pano poroso para a obtenção do suco. A leitura foi realizada diretamente no refratômetro.

3.7. pH E ACIDEZ TITULÁVEL

O pH foi determinado com o auxílio de um pHmetro de bancada, DM-22 Digimed, obtido pelo método 017/IV (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008). A acidez titulável (AT) foi determinada a partir da titulometria de neutralização frente a uma solução padronizada de hidróxido de sódio de concentração 0,1 mol L⁻¹ e indicador fenolftaleína. Os resultados são expressos em gramas de ácido málico/ 100 g de amostra, conforme a método 310/IV (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008). Para tanto, preparou-se as amostras com 5 ml da polpa nas quais foram adicionadas a 50 ml de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRIMEIRO ENSAIO

Os sachês comerciais contendo o permanganato de potássio não informam a quantidade em massa de KMnO_4 . Em geral, é informado que há uma quantidade entre 20% e 30% da massa total do sachê absorvente. Assim, para determinar a massa média do KMnO_4 presente nos sachês, foram adquiridos alguns sachês comerciais na unidade do CEASA de Caxias do Sul/RS. A massa dos sachês comerciais foram inicialmente medida, apresentando uma massa correspondente ao material inerte o KMnO_4 de 9,8 g.

Para determinar a massa de KMnO_4 presente em cada sachê, foi realizada a extração do KMnO_4 com água. O procedimento lavagem e decantação do material inerte foi realizado até que a solução aquosa não apresentasse a cor característica do KMnO_4 . Assim, após a última lavagem, decantação e secagem foi medido a massa, resultando em uma massa de 7,1 g. Assim, foi possível inferir que a massa do KMnO_4 presente no sachê foi de 2,7 g.

Para o experimento foi estabelecido que a porcentagem de permanganato de potássio seria de 1 g por sachê num total de 6 g. Esta quantidade foi estabelecida levando em conta a quantidade de amostras do estudo, já que onde foram adquiridos os sachês comerciais, obteve-se a informação de que um sachê comercial era usado em uma caixa com 7 melões.

A escolha do tecido TNT deu-se, por ser um material poroso, sendo essa característica relevante no primeiro ensaio por facilitar a especulação da interação do gás etileno proveniente das amostras com os agentes oxidantes provenientes dos sachês.

O intuito deste experimento é observar a interação do composto oxidante com o gás proveniente do amadurecimento, pareceu mais adequado usar uma embalagem mais permeável que o comercial para facilitar essa interação, apesar de a embalagem do sachê com agentes oxidantes usado neste experimento não estar em conformidade com as normas tradicionais de órgãos da indústria alimentícia.

Os frutos escolhidos para amostras foram adquiridos em um supermercado em Caxias do Sul, apresentavam cor verde com nota 1 na escala de cores e não obtiveram nenhum tratamento prévio com gás etileno exógeno antes dos experimentos realizados neste trabalho.

Em laboratório foram lavados em água corrente e tratados com solução aquosa de hipoclorito de sódio a 1%.

O primeiro ensaio foi realizado para observar a atividade do sachê sequestrante e conhecer um pouco mais sobre as embalagens modificadas. O teste foi feito em triplicata com 4 grupos.

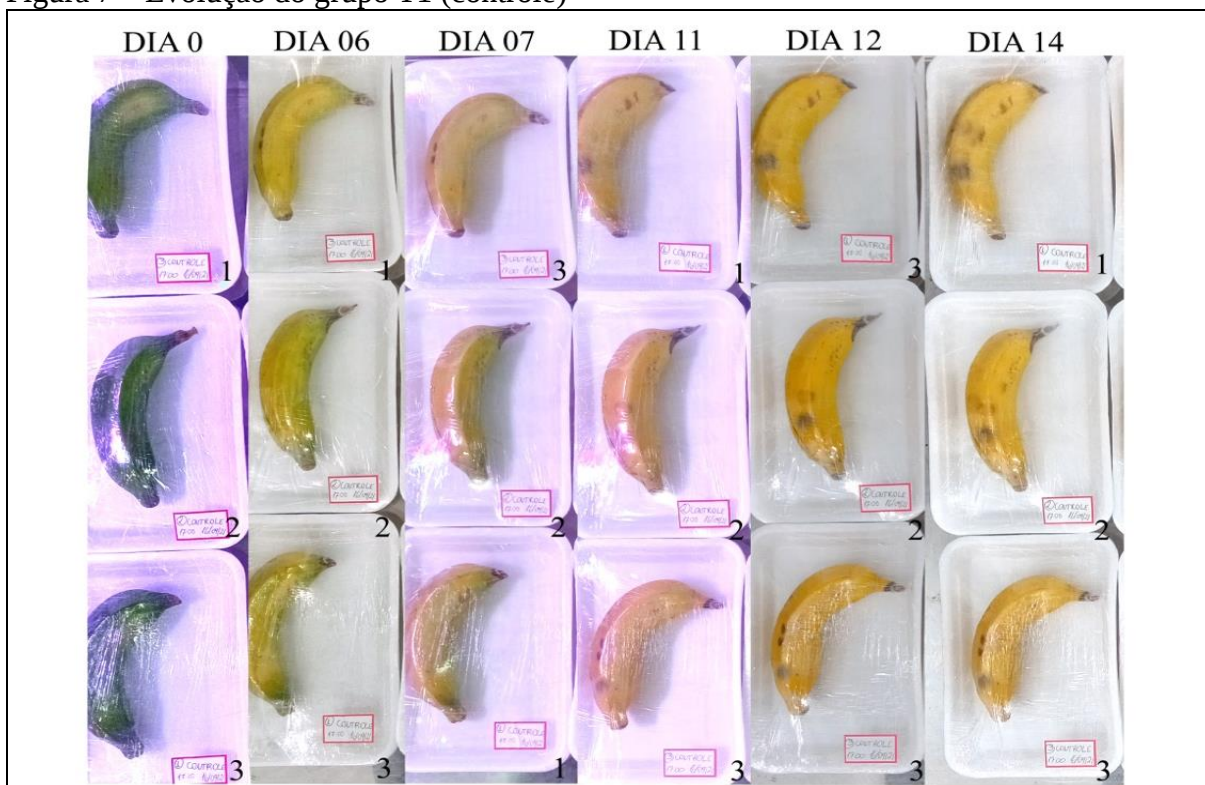
O primeiro grupo, o qual foi o grupo controle, foi denominado de grupo T1. O grupo T2 continha as amostras com o sachê adquirido no comércio. O grupo T3 contendo as amostras com sachês produzidos a partir da matriz de sílica (5 g) e o agente oxidante KMnO_4 (1 g), os quais foram embalados em material TNT, conforme mostrado na Figura 6. Por fim, o grupo T4 foi produzido da mesma forma que o terceiro grupo com a diferença da dopagem do agente oxidante que teve as quantidades alteradas para 0,8 g de KMnO_4 e 0,2 g de MnO_2 . Foi usado banana prata (*Musa spp.*) e armazenados em temperatura oscilante entre 14 °C e 24 °C por 14 dias.

Figura 6 – Mistura obtida a partir da maceração da matriz sólida constituída de sílica e o KMnO_4 como o agente removedor do etileno



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Figura 7 – Evolução do grupo T1 (controle)



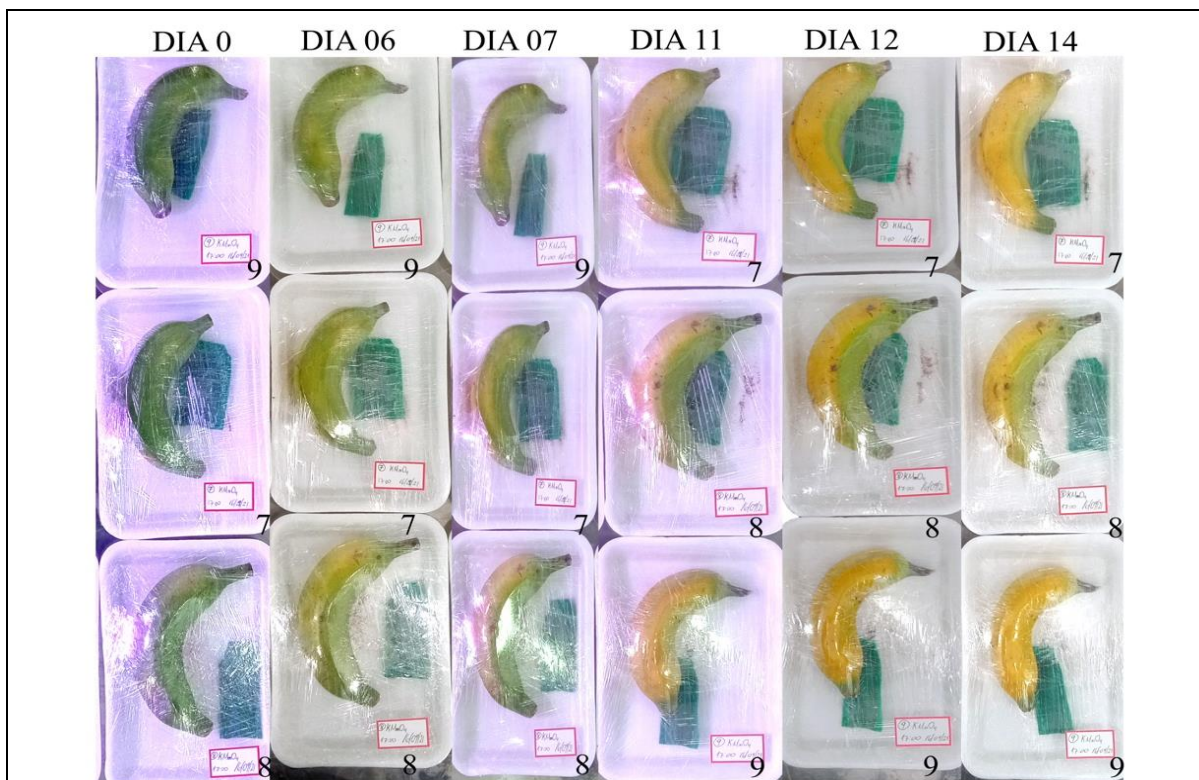
Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Figura 8 – Evolução do grupo T2 (sachê comercial)



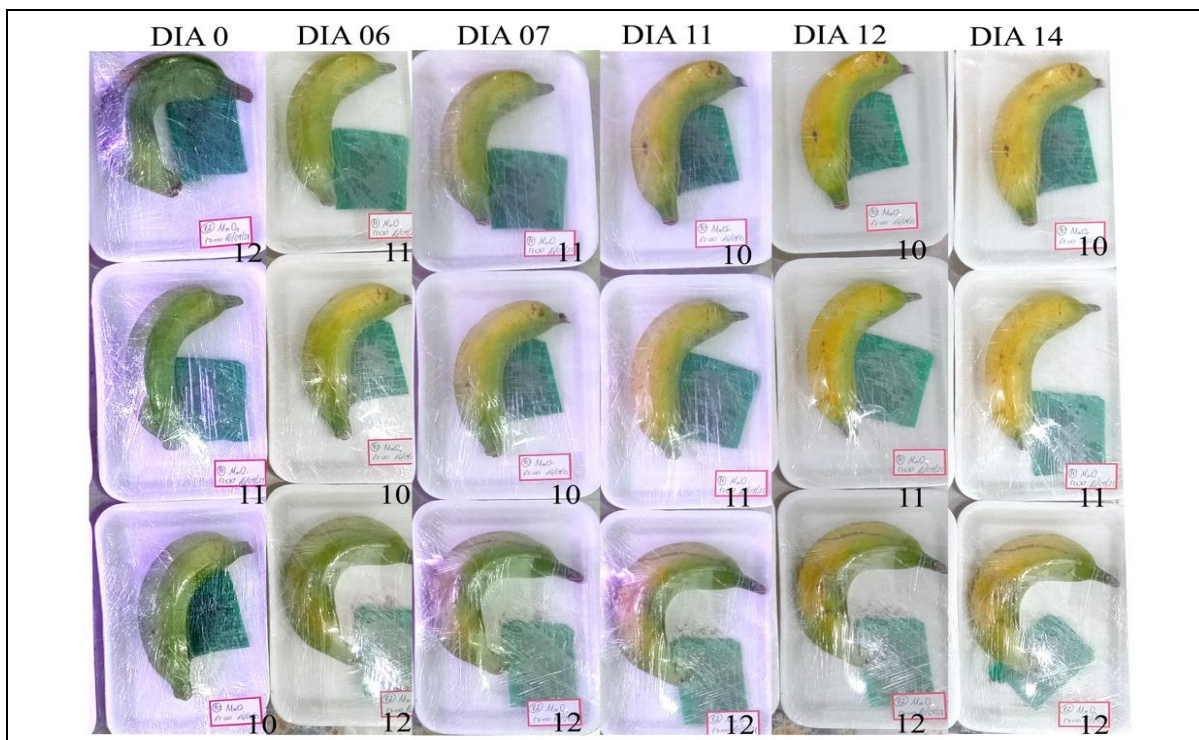
Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Figura 9 – Evolução do grupo T3 (KMnO_4)



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Figura 10 – Evolução do grupo T4 ($\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2$)



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A primeira avaliação da qualidade dos alimentos foi feita por meio das cores, o que influencia muito o consumidor na aquisição. Segundo Álvares (2003) a cor, além da associação preestabelecida, afeta as características organolépticas e conversa diretamente com o consumidor na hora da compra, estando intimamente ligada ao amadurecimento de banana.

A coloração da casca foi definida por uma escala subjetiva de notas, considerando o grau de coloração da casca dos frutos, tomando por base a escala usada por Silva *et al.* (2004), porém atribuindo mais duas notas para “Totalmente amarelo” e “Amarelo com manchas marrons” por ficar mais compatível com o fruto da banana. Esta escala está representada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, em que a seguinte escala numérica é atribuída: 1 (verde), 2 (verde claro), 3 (verde amarelado), 4 (mais amarelado que verde), 5 (amarelo com pontas verde), 6 (totalmente amarelo) e 7 (amarelo com manchas marrons).

Figura 11 – Escala hedônica subjetiva para coloração da casca do fruto de banana

1	Verde		Cor normal na colheita
2	Verde Claro		Primeira mudança de cor durante o amadurecimento na colheita
3	Verde Amarelado		Mudança provocada de cor. Ideal para ser enviada aos varejistas em estações de clima temperado
4	Mais Amarelado do que Verde		Recomendada para ser enviados aos varejistas em estação de clima frio. Ideal para exposição.
5	Amarelada com pontas verdes		Máximo amadurecimento para exposição pelo varejista
6	Totalmente Amarela		Ideal para consumo
7	Amarela com pintas marrons		Completamente madura, com melhor sabor e maior valor nutritivo.

Fonte: Pereira (2013).

Com base na coloração observada no primeiro experimento, no dia 0 todos os frutos apresentavam nota 1 baseado na escala de cores, que é a cor normal no momento da colheita.

Compactuando com a informação recebida do atendente do supermercado onde foram adquiridas as bananas, de que haviam sido colhidas a três dias.

Tabela 1 – Notas de cores atribuídas no 7º e nos 14º dias de ensaio

	T1 (controle)	T2 (comercial)	T3 (KMnO ₄)	T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)
7º dia	5	3	3	3
14º dia	7	5	5	5

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

No grupo T1 (controle), observou-se que no dia 07, correspondente a metade do tempo do ensaio, as bananas apresentavam nota 5, amarelado com pontas verdes, enquanto nos demais grupos que continham agente oxidante a nota atribuída foi 3, verde amarelado, sugerindo retardamento no amadurecimento.

No dia 14, último dia do ensaio, os frutos do grupo T1 apresentavam nota 7 na escala de cores, amarela com pintas marrons, porém, os demais grupos obtiveram nota 5, amarela com pontas verdes, demonstrando conservação na qualidade do fruto. No entanto não foi observado nenhuma diferença vista a olho nu em relação ao grupo T4 que continha sachê com permanganato de potássio com adição de óxido de manganês.

Relacionado a perda de massa, destaca-se, que as condições de atmosfera modificada criada no trabalho resultaram em uma maior qualidade no pós-colheita de frutas devido ao controle da perda de massa.

A perda de massa está intimamente associada à perda de água, minimizada no armazenamento sob atmosfera modificada devido ao aumento da umidade relativa no interior da embalagem, saturando a atmosfera ao redor do fruto, proporcionando a diminuição do déficit de pressão de vapor d'água em relação ao ambiente de armazenamento e minimizando a taxa de transpiração. A Tabela 2 mostra a perda de massa fresca dos frutos de banana tratados com e sem permanganato e com permanganato aditivado com óxido de manganês.

Tabela 2 – perda de massa fresca para os frutos empregados no ensaio 1

Grupo	Triplicata	Massa do fruto (g)		Perda de massa	
		massa inicial	15° dia	(g)	(%)
T1 (controle)	1	120	110	10	8,33
	2	114	104	10	8,77
	3	116	106	10	8,62
T2 (sachê comercial)	4	160	149	11	6,88
	5	122	113	9	7,38
	6	130	120	10	7,69
T3 (KMnO ₄)	7	134	123	11	8,21
	8	142	132	10	7,04
	9	118	107	11	9,32
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	132	122	10	7,56
	11	134	124	10	7,46
	12	166	153	13	7,83

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Não houve diferenças significativas na perda de massa fresca entre os frutos sob presença ou não dos absorvedores de etileno conforme os dados registrados e apresentados na Tabela 3. Constatou-se assim, que a embalagem plástica dificulta a troca de umidade entre o ambiente e o produto, constituindo uma barreira contra a perda de umidade. Conforme a pesquisa feita por Falcão *et al.* (2017), para comporem seu experimento, encontraram na literatura que foi caracterizado frutas de bananeira cv. Prata Anã durante 12 dias de armazenamento sem utilização de embalagens e armazenadas em condições ambientais normais (temperatura e umidade) e verificaram aumento da perda de massa ao longo dos dias de 4,25% para 20,4%, do 3° dia para o 12° dia, respectivamente.

Neste primeiro teste a perda de massa ficou bem longe da média que deve existir nos estágios finais do amadurecimento da banana cerca de 20% do estágio verde para o maduro. Ficando em média entre todas as amostras de 7,93%. Este foi um indício do retardamento do amadurecimento e que apontou que o tempo de ensaio estipulado poderia ser aumentado em um teste subsequente, para se obter dados de um estágio mais avançado da maturação, e assim avaliar novamente a presença dos sachês. De maneira geral, a menor perda de massa fresca pode ser observada quando se utilizou a embalagem plástica com o sachê, demonstrando ser a

associação desse tratamento uma boa técnica pós-colheita, para se evitar a perda de massa dos frutos.

Sobre à firmeza da polpa, foi observado que houve redução ao longo do período de armazenamento, para todos os grupos, contudo, o T1 foi o que apresentou menores valores de firmeza da polpa da banana, demonstrando estarem mais maduros. Independente do uso de sachê, já foi observado atraso na firmeza da polpa em diversos cultivares apenas pelo uso da embalagem utilizando sacos plásticos ou bandeja de isopor recoberta com filme de PVC.

A avaliação de firmeza foi realizada com um penetrômetro de bancada, sendo os resultados expressos em Newton (N). As análises foram realizadas logo que os frutos foram desembalados e neste experimento, a firmeza foi determinada com os frutos íntegros, ou seja, ainda com casca, e em cada fruto foram realizadas duas medidas.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que a perda de firmeza foi maior nos frutos armazenados sem nenhum tipo de sachê eliminador, e as menores perdas de firmeza foram encontradas para os frutos com embalagens associadas ao sachê sequestrante de etileno. Foi observado neste teste prévio uma diferença significativa do sachê com KMnO_4 para o sachê com adição de MnO_2 . A distância entre os valores não é grande, porém expõe uma anomalia em relação aos grupos T2 e T3 que são constituídos apenas do KMnO_4 .

Tabela 3 – Resultados da análise de firmeza e valores médios no 15º dia de ensaio.

Grupo	triplicata	Firmeza (N) Ponto 1 / ponto2	Valor médio para a firmeza em cada grupo (N)
T1 (controle)	1	9,90 / 9,85	10,14 ± 0,33
	2	11,1 / 10,1	
	3	9,4 / 10,5	
T2 (sachê comercial)	4	13,0 / 16,5	15,6 ± 0,57
	5	17,8 / 14,0	
	6	14,0 / 18,0	
T3 (KMnO_4)	7	11,8 / 17,5	16,3 ± 1,83
	8	15,3 / 15,4	
	9	16,7 / 21,0	
T4 (KMnO_4 + MnO_2)	10	13,3 / 24,3	18,71 ± 0,074
	11	16,0 / 21,25	
	12	15,6 / 21,8	

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Nasser *et al.* (2015) confirma que o permanganato de potássio altera o meio interno das embalagens absorvendo o etileno e diminuiu a velocidade de amadurecimento nos frutos de mangaba, e por esse motivo, colaborou com a preservação da qualidade. Normalmente, os frutos sujeitos aos tratamentos com atmosfera modificada com sachês removedores apresentaram-se mais firmes que os frutos que foram somente associados a embalagens com ausência de O₂.

Outro importante parâmetro são os sólidos solúveis totais (SST), o qual é uma medida indireta do teor de açúcares, que aumentam com a maturação por meio de processos sintéticos ou pela degradação de polissacarídeos (FALCÃO *et al.*, 2017). Os sólidos solúveis totais são medidos em grau Brix (°Bx), que cada 1 °Bx refere-se a uma grama de açúcar para cada 100 gramas de solução, sendo a solução neste caso o suco ou a polpa da fruta.

Nas bananas, o SST se intensifica ao longo do período de armazenamento em razão da degradação do amido e o acúmulo de sacarose na polpa dos frutos, que são apresentados como os principais processos que ocorrem durante o amadurecimento do fruto da banana.

Choudhury, Roy e Sengupta (2009) evidenciam uma degradação do amido em frutos de banana entre 58 e 70% nos primeiros dias do período de estoque em condições ambientais com temperaturas entre 18-20 °C. Já Falcão *et al.* (2017) relatou o aumento no teor de sólidos solúveis totais em frutos de banana Prata Anã armazenadas a 23°C e umidade relativa de 79,5%. Os valores aumentaram de 3,40 °Bx no estado verde, para 26,0 °Bx no estado muito maduro.

Como observado nos valores de SST obtidos nos frutos de banana após o 15º dia do ensaio (Tabela 4), o menor teor de sólidos solúveis obtidos neste teste se deve pelo fato de a atmosfera modificada inibir o processo respiratório no qual a acúmulo de CO₂ e diminuição do O₂ no interior da embalagem, atrasando assim a maturação dos frutos. Já está constado que durante o armazenamento de uma boa parte das frutas, há um aumento dos teores de sólidos solúveis, promovido pela quebra do amido, que se transforma em produtos mais simples como açúcares.

Tabela 4 – Resultados da análise de sólidos solúveis totais (SST) e valores médios determinados no 15º dia de ensaio.

Grupo	triplicata	SST (°Bx)	Valor médio para o SST em cada grupo (°Bx)
T1 (controle)	1	24,0	23,93 ± 0,17
	2	23,7	
	3	24,1	
T2 (sachê comercial)	4	24,1	24,33 ± 0,33
	5	24,1	
	6	24,8	
T3 (KMnO ₄)	7	23,7	22,8 ± 0,67
	8	22,6	
	9	22,1	
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	24,1	24,36 ± 0,20
	11	24,4	
	12	24,6	

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Mesmo com pouca diferença entre o grupo sem o sachê removedor e o grupo com o sachê removedor de etileno, atribui-se que uso de sachês absorvedores é fundamental, pois mantém as características visuais, reduz perda de massa ao longo do período de armazenamento em diversos estudos com variados cultivares e também no presente estudo.

Com relação a acidez titulável, no qual os resultados são expressos em gramas de ácido málico a cada de 100 g de amostra, Falcão *et al.* (2017) afirmaram com base no seu experimento que, nos resultados de acidez nas condições de atmosfera modificada com ou sem absorvedor de etileno, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos. Ressaltando que a presença dos absorvedores não apresenta efeitos na alteração da acidez na polpa dos frutos. No presente trabalho, os resultados não foram diferentes aos reportados, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos para a acidez titulável (AT) e pH determinados no 15º dia de ensaio.

Grupos	Triplicata	AT	Valores médios para a AT	pH
T1 (controle)	1	0,51	0,51 ± 0,016	4,67
	2	0,53		4,69
	3	0,49		4,74
T2 (sachê comercial)	4	0,51	0,49 ± 0,013	4,76
	5	0,49		4,72
	6	0,48		4,71
T3 (KMnO ₄)	7	0,53	0,53 ± 0,013	4,74
	8	0,55		4,63
	9	0,52		4,70
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	0,51	0,52 ± 0,013	4,65
	11	0,54		4,62
	12	0,52		4,53

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Sobre a relação entre os sólidos solúveis e a acidez titulável, Falcão *et al.* (2017) também relata que os frutos das variedades cv. Prata Anã e cv. Grand Naine quando armazenadas em temperatura ambiente na presença de sachês de KMnO₄ apresentaram valores de 53 e 40,2, respectivamente. Já na ausência dos sachês de KMnO₄ valores de 26,3 e 46,7, respectivamente. Na condição refrigerada os frutos da variedade Prata Anã apresentaram valores de 34,0 na presença do KMnO₄ e 38,8 na ausência; para variedade cv. Grand Nine os valores médios corresponderam a 66,9 e 77,2 na presença e ausência do KMnO₄, respectivamente. A Tabela 6 apresenta os resultados para a relação entre sólidos solúveis totais e a acidez titulável (SST/AT) observados neste trabalho.

Tabela 6 – Valores médios da razão SS/AT por grupo

Grupos	Triplicata	SST/AT	Valores médios para a SST/AT
T1 (controle)	1	47,0	47,0 ± 1,84
	2	44,7	
	3	49,2	
T2 (sachê comercial)	4	47,3	49,2 ± 1,59
	5	49,2	
	6	51,2	
T3 (KMnO ₄)	7	44,7	42,7 ± 1,52
	8	41	
	9	42,5	
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	47,3	46,6 ± 0,99
	11	45,2	
	12	47,3	

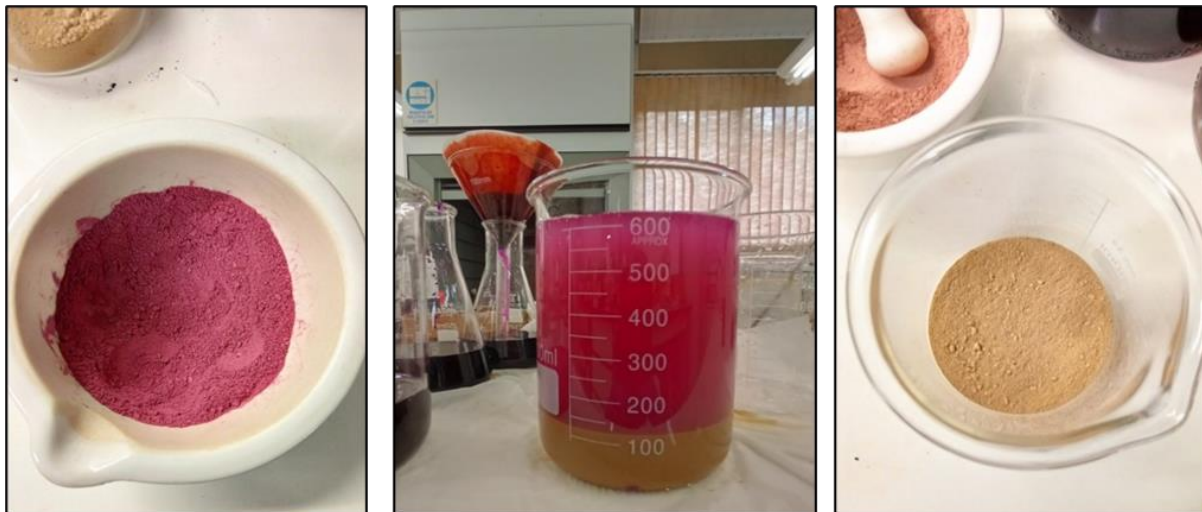
Fonte: elaborada pelo autor (2021).

4.2. SEGUNDO ENSAIO

Para o segundo ensaio foram realizadas algumas modificações com a finalidade de reduzir as algumas variáveis relacionadas ao sachê. Para isso foi empregado o mesmo material inerte encontrado nos sachês comerciais, e também foi utilizado o mesmo material como invólucro, tanto para o conteúdo dos sachês comerciais, como para o material preparado para este experimento. Assim, pode-se excluir a variável relacionada à capacidade de difusão do etileno dentro da atmosfera controlada

Assim, o primeiro passo foi a extração do material inerte dos sachês comerciais, o qual foi alcançado pela lavagem do conteúdo dos sachês comerciais. O material foi lavado até não houver indícios da presença de KMnO₄. Importante ressaltar que não está descrito nas embalagens dos sachês comerciais a natureza do material adsorvente. Além disso, não foi realizada nenhuma análise para a caracterização deste material. A Figura 12 apresenta as imagens das etapas de recuperação do material inerte para ser empregado na confecção dos sachês contendo apenas KMnO₄ e nos sachês contendo KMnO₄ e o MnO₂.

Figura 12 – Fotografias das etapas de recuperação do material inerte dos sachês removedores e etileno comerciais. Na fotografia da direita o conteúdo dos sachês contendo o material inerte e KMnO_4 , no centro o material inerte em decantação e na esquerda a após a filtragem secagem.



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Já com relação aos sachês padronizados para o experimento, estes foram confeccionados de modo artesanal com papel filtro e seguiram as medidas do sachê comercial. O interior do sachê comercial foi retirado da sua embalagem original, macerado e todo o conteúdo adicionado no sachê feito manualmente de papel filtro.

A Figura 13 demonstra como ficou a aparência visual dos removedores de etileno preparados a partir do material inerte recuperado dos sachês comerciais.

Figura 13 – Material inerte macerado com KMnO_4 (esquerda) e o material inerte macerado com KMnO_4 e MnO_2 (direita).



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Para o segundo ensaio foram utilizadas bananas da variedade caturra (*Musa* spp.), as quais foram adquiridas em uma rede de distribuição próxima à Universidade de Caxias do Sul.

A Figura 14 mostra as bananas durante a etapa de higienização com solução aquosa de hipoclorito de sódio a 1%, mostrando também a coloração da casca que é atribuída a escala 1 – verde.

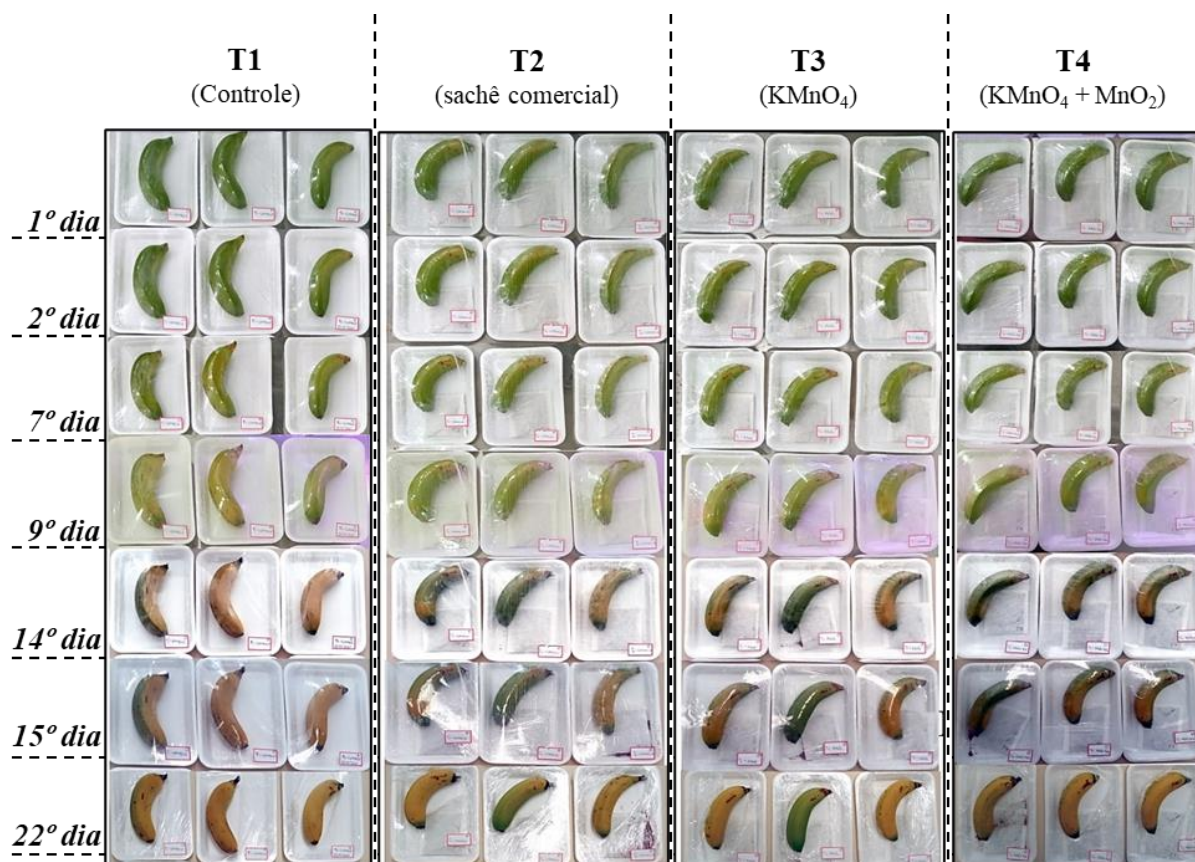
Figura 14 – Bananas submersas em solução de cloro 1% no segundo experimento



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Este experimento teve um período de armazenamento prolongado em relação ao anterior, para explorar as capacidades do sachê sequestrante de etileno e observar a relação do fruto na atmosfera modificada. As frutas de cada tratamento foram acondicionadas, uma a uma, em bandejas de isopor e seladas com papel filme junto com os devidos sachês, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Fotografias demonstrando a alteração da coloração dos frutos de banana nos 22 dias de ensaio



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Neste segundo teste, assim como o primeiro, as bananas escolhidas para o experimento foram frutos com poucos dias de colheita com características segundo a escala de cores, com nota 1. Segundo a escala de cores (Figura 11), observou-se que ao final dos 22 dias de armazenamento todos os grupos apresentaram a mesma nota 7. Porém o grupo controle já mostrava cores mais amarelas após o 9º dia de ensaio (Tabela 7). Confirmando a eficácia do sachê removedor de etileno na atmosfera modificada. Não foi possível observar diferença significativa entre os grupos com sachê a base de permanganato de potássio KMnO_4 e o grupo com sachê a base de permanganato com o aditivo de óxido de manganês MnO_2 .

Tabela 7 – Notas de cores no dia 9º dia e no 22º dia ao final do ensaio.

	T1 (controle)	T2 (comercial)	T3 (KMnO_4)	T4 ($\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2$)
9º dia	3	3	3	3
22º dia	7	7	7	7

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Assim, como foi apresentado no primeiro ensaio, neste segundo ensaio foi também avaliado a perda massa nas amostras (Tabela 8). Após repetido os testes, as amostras do segundo ensaio, não apresentaram mudanças aparentes em relação a perda de massa entre os grupos com sachê oxidante e o grupo controle, como aconteceu no primeiro ensaio. Também não foi observado, com base na perda de massa fresca, diferenças significativas entre o grupo que continha agente oxidante a base de permanganato de potássio com adição de óxido de manganês e os demais grupos com apenas permanganato de potássio e em seus sachês.

Tabela 8 – Perda de massa fresca para os frutos empregados no ensaio 2.

Grupo	Triplicata	Massa do fruto (g)		Perda de massa	
		massa inicial	22º dia	(g)	(%)
T1 (controle)	1	113,25	105,8	7,45	6,58
	2	136,15	127,47	8,68	6,38
	3	120,23	112,5	7,73	6,43
T2 (sachê comercial)	4	111,62	104,56	7,06	6,33
	5	108,66	103,24	5,42	4,99
	6	104,47	97,58	6,89	6,6
T3 (KMnO ₄)	7	106,78	100,3	6,48	6,07
	8	115,54	110,52	5,02	4,34
	9	113,34	107,57	5,77	5,09
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	102,76	96,83	5,93	5,77
	11	102,74	97,4	5,34	5,2
	12	119,75	113,86	5,89	4,92

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A avaliação de firmeza da polpa constitui na retirada superficial da casca e na introdução da ponteira de 8 mm do penetrômetro de bancada, desta vez, na polpa das bananas em ambos os lados (Figura 16).

Figura 16 – Fotografias representando o ensaio de firmeza demonstrando os frutos após o 22º dia de ensaio sem as cascas (direita), o penetrômetro de bancada (centro) e o ensaio de firmeza.



A amostra 5 e 8 foram excluídas do teste de firmeza por apresentarem valores destoantes com os reportados na literatura e o normal que já vem se observado ao longo desde trabalho. Neste segundo ensaio foi adicionado o grupo de frutos verdes. Este grupo nos mostra valores altos de firmeza de polpa, demonstrando que o grupo com resultados mais próximos a este foi o que se saiu melhor nos testes.

O período estendido de armazenamento contribuiu para que os resultados na firmeza da polpa ficassem distantes de um estágio com menos sinais de senescência. O grupo T2 e T4 obtiveram resultados melhores em relação aos outros dois grupos e todos os grupos apresentaram resultados mais desejáveis em relação ao grupo T1. A Tabela 9 apresenta os resultados das médias dos grupos e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 9 – Resultados da análise de firmeza e valores médios no 22º dia de ensaio e para o fruto verde.

Grupo	triplicata	Firmeza (N) Ponto 1 / ponto2	Valor médio para a firmeza em cada grupo (N)
T1 (controle)	1	7,15/5,60	4,68 ± 1,2
	2	3,85/3,95	
	3	3,35/4,2	
T2 (sachê comercial)	4	5,35/9,65	12,12 ± 0,52
	5	25/15,75	
	6	8,8/8,15	
T3 (KMnO ₄)	7	4,55/8,60	7,49 ± 0,91
	8	-	
	9	7,30/9,5	
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	8,55/10,45	12,95 ± 0,51
	11	8,2/9,70	
	12	9,2/11,2	
fruto verde	13	85/87	93,3 ± 5,25
	14	84,85/111	
	15	89,1/103,6	

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

O teor de sólidos solúveis deste ensaio foi adquirido utilizando o mesmo método do primeiro ensaio. Porém, foi utilizado duas peneiras para a obtenção do suco da banana. Este procedimento foi mais eficiente do que o pano poroso, no entanto esta qualidade de banana fez parecer ter menos suco que a do primeiro teste, tornando esta tarefa tão trabalhosa quanto a do primeiro ensaio. Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios de teor de sólidos solúveis por grupo.

Tabela 10 – Resultados da análise de sólidos solúveis totais (SST) e valores médios determinados no 22º dia de ensaio.

Grupo	triplicata	SST (°Bx)	Valor médio para o SST em cada grupo (°Bx)
T1 (controle)	1	24,1	23,4 ± 0,79
	2	23,8	
	3	22,3	
T2 (sachê comercial)	4	22	22,13 ± 1,62
	5	20,3	
	6	24,1	
T3 (KMnO ₄)	7	22,3	20,2 ± 2,15
	8	-	
	9	18	
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	21,7	23,2 ± 1,09
	11	24,3	
	12	23,5	
fruto verde	13	3,6	4 ± 0,3
	14	4,3	
	15	4,1	

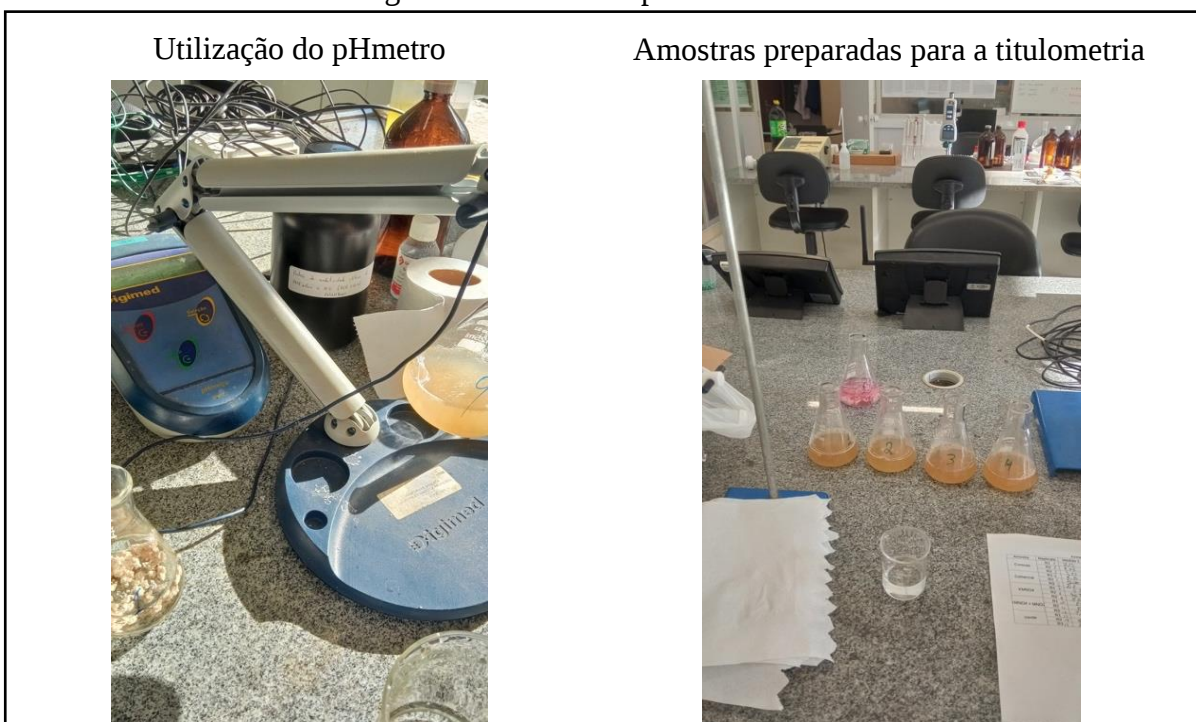
Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A amostra 8 foi excluída do teste de teor de sólidos solúveis (SST), pois, novamente, apresentou valores divergentes com as da literatura. Acredita-se que a amostra 8 se trata de uma anomalia, pois não apresentava sinais de amadurecimento após o período de armazenamento e não parecia ter nenhuma característica organoléptica desejável em um fruto com tanto tempo pós-colheita.

Os frutos que estavam na presença de sachê removedor apresentaram melhores condições de comerciabilidade e seguindo os valores da Tabela 10 possuíam valores de composição melhores que os frutos sem sachê. Esses frutos em presença do sachê oxidante de etileno poderiam continuar em prateleira por mais alguns dias mantendo suas qualidades para consumo sem perder seu valor nutritivo. Esta é uma suposição feita com base na literatura e no método em que estaria preservado esses frutos. O tempo de vida dos frutos pós-tratamento com sachê sequestrante de etileno necessita de mais estudos para se precisar um tempo médio de vida seja na prateleira do comercio ou na residência do consumidor.

Para os valores obtidos a partir das análises de acidez titulável (Tabela 11) observa-se que estes seguem os padrões estabelecidos na metodologia de Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008), assim como no primeiro ensaio. Previamente ao procedimento de titulometria foi aferido o pH das amostras seguindo a mesma metodologia empregada no primeiro ensaio. A Figura 18 ilustra os ensaios de determinação o pH e da titulometria realizada na polpa das bananas. A acidez em frutos de bananeira varia de 0,17% a 0,67% o pH, de 4,2 a 4, conforme Viviani e Leal (2007).

Figura 17 – Testes de pH e titulometria



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Tabela 11 – Resultados obtidos para a acidez titulável (AT) e pH determinados no 22º dia de ensaio.

Grupo	triplicata	AT	Valores médios para a AT	pH
T1 (controle)	1	0,28	0,21 ± 0,05	5,59
	2	0,17		5,66
	3	0,18		5,67
T2 (sachê comercial)	4	0,19	0,26 ± 0,07	5,63
	5	0,35		4,68
	6	0,24		5,26
T3 (KMnO ₄)	7	0,22	0,23 ± 0,07	5,57
	8	-		-
	9	0,24		5,39
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	0,23	0,25 ± 0,02	5,25
	11	0,26		5,23
	12	0,27		5,29
fruto verde	13	0,12	0,09 ± 0,02	-
	14	0,09		-
	15	0,08		-

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Observou-se pouca diferença da acidez titulável entre os grupos com e sem o sachê absorvedor. Assim como no primeiro ensaio, esta pouca diferença nos valores está de acordo com a literatura. A amostra 8 não apresentou leitura de pH e também na titulometria. A relação SS/AT, como outro fator de análise está descrita na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios da razão SS/AT por grupo

Grupos	Triplicata	SST/AT	Valores médios para a SST/AT
T1 (controle)	1	86,07	116,36 ± 22,2
	2	140,00	
	3	123,88	
T2 (sachê comercial)	4	115,78	91,4 ± 24,44
	5	58,00	
	6	100,41	
T3 (KMnO ₄)	7	101,36	88,18 ± 13,2
	8	-	
	9	75,00	
T4 (KMnO ₄ + MnO ₂)	10	94,34	91,62 ± 3,26
	11	93,46	
	12	87,03	
fruto verde	13	30,00	43,01 ± 9,31
	14	47,77	
	15	51,25	

SST: Sólidos solúveis totais; AT: acidez titulável (g ácido málico / 100 g amostra).

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Os valores da relação SST/AT neste segundo ensaio ficaram ligeiramente maiores que os do primeiro ensaio. Adere se a este fato a troca da qualidade da banana, pois a mesma apresentou valores parecidos quanto ao teor de sólidos solúveis totais, mas valores menores na acidez titulável. Neste segundo ensaio também foi verificado, como no primeiro, a proximidade dos valores dos grupos com e sem sachê. Mesmo assim, os grupos que estavam na presença do sachê absorvente apresenta mais proximidade aos valores de referência do fruto verde.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com este trabalho, concluiu-se que os grupos com sachês obtiveram resultados melhores que o grupo que não estava na presença do sachê removedor de etileno o que resultou no retardamento do processo de maturação e consequente aumento do tempo de conservação dos frutos de banana prata e caturra, caracterizando-se como uma alternativa viável e econômica para criação da atmosfera modificada.

O KMnO_4 associado à embalagem plástica manteve boa qualidade visual e foi eficiente em manter os frutos na fase pré-climatérica durante os dias de armazenamento, possibilitando o transporte a longas distâncias ou longo período dentro de um estabelecimento para venda direta ou distribuidora. Esse produto não interferiu no amadurecimento normal da banana, conservando os níveis ideais de açúcar e acidez para o consumo.

Em ambos os testes foram observados resultados semelhantes entre os grupos, frente as análises realizadas em relação a acidez titulável, pH, perda de massa fresca e teor de sólidos solúveis.

Quanto a cor da casca e a firmeza do fruto, foram obtidos resultados aparentes em ambos os ensaios, comprovando o efeito benéfico do sachê removedor de etileno na atmosfera modificada.

Não foi possível observar diferenças entre o sachê a base de permanganato de potássio e o sachê com permanganato de potássio com adição de óxido de manganês. A literatura em relação a esta dopagem com óxido de manganês não apresenta um corpo suficiente de ensaios para especular o potencial da tecnologia em tais produtos.

Este trabalho possibilitou a visão de uma ferramenta emergente e de certa forma com fácil acesso e aplicabilidade. Conforme as pesquisas aqui realizadas, ficou evidente a necessidade de conservar por mais tempo alimentos com alto teor de perecibilidade.

REFERÊNCIAS

- ÁLVARES, V. DE S. **Amadurecimento e qualidade da banana ‘Prata’ (Musa AAB subgrupo Prata) submetida a diferentes concentrações de etileno**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa., 2003.
- ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, M. H. et al. Potassium Permanganate-Based Ethylene Scavengers for Fresh Horticultural Produce as an Active Packaging. **Food Engineering Reviews**, v. 11, n. 3, p. 159–183, 2019.
- AMARANTE, C. V. T. DO; STEFFENS, C. A. Sachês absorvedores de etileno na pós-colheita de maçãs “Royal Gala”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 71–77, 2009.
- BAL, E.; CELIK, S. The effects of postharvest treatments of salicylic acid and potassium permanganate on the storage of kiwifruit. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 16, n. 5, p. 576–584, 2010.
- BALAGUERA-LÓPEZ, H. E. et al. Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 8, n. 2, p. 302, 2015.
- BAPAT, V. A. et al. **Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene** *Biotechnology Advances*, 2010.
- BRON, I. U.; JACOMINO, A. P. Classificação de frutos por “climatério” é conceito em extinção? **Visão Agrícola**, v. 7, p. 8–10, 2007.
- CHOUDHURY, S. R.; ROY, S.; SENGUPTA, D. N. A comparative study of cultivar differences in sucrose phosphate synthase gene expression and sucrose formation during banana fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 54, n. 1, p. 15–24, 2009.
- FALCÃO, H. A. DE S. et al. ARMAZENAMENTO DE VARIEDADES DE BANANAS EM CONDIÇÕES DE ATMOSFERA MODIFICADA COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO. **JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE**, v. 4, n. 4, p. 1–7, 2017.
- FORSYTH, F. R.; EAVES, C. A.; LOCKHART, C. L. CONTROLLING ETHYLENE LEVELS IN THE ATMOSPHERE OF SMALL CONTAINERS OF APPLES. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 47, n. 6, p. 717–718, 1967.
- FREITAS, S. M. DE; GODAS, F. L.; MIURA, M. **Características Mercadológicas da Banana: oferta e consumo na metrópole paulistana em 2019. Análises e Indicadores do Agronegócio**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14851>>. Acesso em: 8 nov. 2021.
- GAIKWAD, K. K. et al. Development of antimicrobial polyolefin films containing lauroyl arginate and their use in the packaging of strawberries. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 1706–1716, 2017.
- GARCÍA, J. C. et al. Conservación del fruto de banano bocadillo (Musa AA Simmonds) con la aplicación de permanganato de potasio (KMnO₄). **REVISTA COLOMBIANA DE**

CIENCIAS HORTÍCOLA, v. 6, n. 2, p. 161–171, 2012.

HU, B. et al. Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 66–82, 2019.

IPCS. **IPCS. International Programme On Chemical Safety (org.) Manganese.**

Disponível em: <<https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc017.htm>>. Acesso em: 29 set. 2021.

JANJARASSKUL, T.; SUPPAKUL, P. Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 5, p. 808–831, 2018.

KELLER, N. et al. **Ethylene removal and fresh product storage: A challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation** **Chemical Reviews**, 2013. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr900398v>>

KIM, S.; JEONG, G. H.; KIM, S.-W. Ethylene Gas Decomposition Using ZSM-5/WO₃-Pt-Nanorod Composites for Fruit Freshness. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 7, n. 13, p. 11250–11257, 2019.

KÖSTEKLI, M. et al. Role of Potassium Permanganate Ethylene on Physicochemical Properties, during Storage of Five Different Tomato Cultivars. **MOJ Food Processing & Technology**, v. 3, n. 2, p. 281–289, 2016.

KUMAR, P. et al. Effect of ethylene absorbant (KMnO₄) with different carrier materials for shelf life of banana CV. Nendran. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, n. 5, p. 2243–2245, 2017.

LI, S. et al. Auto- and mutual-regulation between two CitERFs contribute to ethylene-induced citrus fruit degreening. **Food Chemistry**, v. 299, p. 125163, 2019.

MESQUITA, S. DA S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoids: Properties, Applications and Market. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 2, p. 672–688, 2017.

MORAIS, I. **Pesquisa leva sabor da banana prata anã para Europa.** Disponível em: <<https://www2.dti.ufv.br/noticias/scripts/exibeCiencia.php?codNot=23404>>. Acesso em: 18 out. 2021.

NASSER, F. A. C. M. A. DE C. M. et al. Uso de sachê de permanganato de potássio na pós-colheita de mangabas. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 46–251, 2015.

PATHAK, N. et al. Photocatalytic and Photochemical Oxidation of Ethylene: Potential for Storage of Fresh Produce—a Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 6, p. 982–1001, 2017.

SALAMANCA, F. A.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; HERRERA, A. O. Efecto del permanganato de potasio sobre algunas características poscosecha de frutos de tomate “chonto” (*Solanum lycopersicum* L.). **Acta Horticulturae**, n. 1016, p. 171–176, 2014.

SAMMI, S.; MASUD, T. Effect of Different Packaging Systems on Storage Life and Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) during Different Ripening Stages. **Internet Journal of Food Safety**, v. 9, p. 37–44, 2007.

SEREK, M. et al. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. 4, p. 368–381, 2006.

SHAABANI, A.; MIRZAEI, P.; LEE, D. G. The beneficial effect of manganese dioxide on the oxidation of organic compounds by potassium permanganate. **Catalysis Letters**, v. 97, n. 3–4, p. 119–123, 2004.

SILVA, D. F. P. DA et al. Efeito de absorvedor de etileno na conservação de mamão “Golden”, armazenado à temperatura ambiente. **Revista Ceres**, v. 57, n. 6, p. 706–715, 2010.

SILVÉRIO, L. G.; TADINI, C. C. **Estudo da velocidade de amadurecimento de bananas variedade Nanica (Musa cavendishii) imersas em banho de ester de sacarose**. Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. **Anais...**São Paulo: 1997.

SINGH, S.; GAIKWAD, K. K.; LEE, Y. S. **Phase change materials for advanced cooling packaging** **Environmental Chemistry Letters**, 2018.

SIQUEIRA, M. DE S. B. **Caracterização da qualidade de banana prata-anã armazenada em diferentes condições de atmosfera controlada**. [s.l.] Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2014.

SPRICIGO, P. C. et al. Nanoscaled Platforms Based on SiO₂ and Al₂O₃ Impregnated with Potassium Permanganate Use Color Changes to Indicate Ethylene Removal. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 9, p. 1622–1630, 2017.

TIRGAR, A.; HAN, D.; STECKL, A. J. Absorption of Ethylene on Membranes Containing Potassium Permanganate Loaded into Alumina-Nanoparticle-Incorporated Alumina/Carbon Nanofibers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 22, p. 5635–5643, 2018.

VILELA, C. et al. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 212–222, 2018.

VIVIANI, L.; LEAL, P. M. Qualidade pós-colheita de banana Prata Anã armazenada sob diferentes condições. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 465–470, 2007.

WEI, H. et al. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. **Food Chemistry**, v. 337, n. October, p. 127750, 2021.

WILLS, R. B.; GOLDING, J. B. Reduction of energy usage in postharvest horticulture through management of ethylene. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 7, p. 1379–1384, 2015.

WILLS, R. B. H.; KIM, G. H. Effect of ethylene on postharvest life of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 6, n. 3–4, p. 249–255, 1995.

WILLS, R. B. H.; WARTON, M. A. Efficacy of Potassium Permanganate Impregnated into Alumina Beads to Reduce Atmospheric Ethylene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, n. 3, p. 433–438, 2004.

YANG, Y. et al. Inhibition of nitric oxide synthesis delayed mature-green tomato fruits ripening induced by inhibition of ethylene. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 95–101, 2016.

YILDIRIM, S. et al. Active Packaging Applications for Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 1, p. 165–199, 2018.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: [s.n.].

ZHU, Z. et al. Preparation of PAN@TiO₂ Nanofibers for Fruit Packaging Materials with Efficient Photocatalytic Degradation of Ethylene. **Materials**, v. 12, n. 6, p. 896, 2019.