JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v6i3.715
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

O PAPEL DO ETILENO NA AGRICULTURA MODERNA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

ETYLENE PAPER IN MODERN AGRICULTURE: A LITERATURE REVIEW

EL PAPEL DEL ETILENO EN LA AGRICULTURA MODERNA: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Rudmila da Silva Zanatta*[1]; Anabely Mendes dos Santos[1]; Gabriel Weber[1]; Vitor Kelvin dos Santos Bieger[1] Wanderson Benerval de Lucena[2]

[1]Graduandos em Engenharia Agronômica – UNIMT – Água Boa, Mato Grosso, Brasil; [2]Orientador, Doutor em Agronomia (Ciência do Solo) - Unesp. Professor Adjunto - UNIMT - Água Boa, Mato Grosso, Brasil;
*Autor correspondente: dasilvazanattarudmila@gmail.com

Recebido: 07/07/2026 | **Aprovado**: 18/09/2026 | **Publicado**: 24/09/2026

Resumo: O etileno é um fitormônio gasoso central para a agricultura moderna, especialmente por regular amadurecimento, senescência, abscisão, resposta a estresses e conservação pós-colheita de frutas e hortaliças. Este artigo teve como objetivo analisar o papel do etileno na qualidade de produtos hortícolas, relacionando sua biossíntese, sinalização e manejo tecnológico com estratégias de conservação e redução de perdas. A metodologia consistiu em revisão bibliográfica narrativa, com seleção de publicações científicas nacionais e internacionais sobre fisiologia pós-colheita, biotecnologia vegetal, inibição da ação do etileno e tecnologias de armazenamento. Os resultados indicam que o etileno exerce efeitos distintos conforme a espécie, o estádio de maturação e a classificação climactérica ou não climactérica do produto. Em frutos climatéricos, como banana, tomate, maçã e manga, a produção autocatalítica de etileno acelera alterações de cor, textura, aroma e composição química; já em hortaliças e frutos sensíveis, pequenas concentrações externas podem induzir amarelecimento, murcha ou perda comercial. Verificou-se ainda que tecnologias como refrigeração, atmosfera modificada, remoção de etileno, aplicação de 1-metilciclopropeno e melhoramento biotecnológico contribuem para prolongar a vida útil, desde que utilizadas de forma integrada. Conclui-se que o etileno não deve ser tratado apenas como agente de deterioração, mas como ferramenta fisiológica e tecnológica para organizar colheita, armazenamento, transporte e comercialização de produtos agrícolas.

Palavras-chave: Fisiologia vegetal. Pós-colheita. Amadurecimento. 1-metilciclopropeno. Hortifruticultura.

Abstract: Ethylene is a gaseous phytohormone that plays a central role in modern agriculture, especially because it regulates ripening, senescence, abscission, stress responses, and postharvest conservation of fruits and vegetables. This article aimed to analyze the role of ethylene in the quality of horticultural products by relating its biosynthesis, signaling, and technological management to conservation strategies and loss reduction. The methodology consisted of a narrative literature review based on national and international scientific publications on postharvest physiology, plant biotechnology, inhibition of ethylene action, and storage technologies. The results indicate that ethylene has different effects according to species, maturity stage, and whether the product is climacteric or non-climacteric. In climacteric fruits, such as banana, tomato, apple, and mango, autocatalytic ethylene production accelerates changes in color, texture, aroma, and chemical composition; in sensitive vegetables and fruits, even low external concentrations may induce yellowing, wilting, or commercial quality loss. Technologies such as refrigeration, modified atmosphere, ethylene removal, 1-methylcyclopropene application, and biotechnological breeding can extend shelf life when used in an integrated way. It is concluded that ethylene should not be treated only as a deterioration agent, but also as a physiological and technological tool for organizing harvest, storage, transportation, and commercialization of agricultural products.

Keywords: Plant physiology. Postharvest. Ripening. 1-methylcyclopropene. Horticulture.

Resumen: El etileno es una fitohormona gaseosa central para la agricultura moderna, especialmente porque regula la maduración, la senescencia, la abscisión, las respuestas al estrés y la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. Este artículo tuvo como objetivo analizar el papel del etileno en la calidad de los productos hortícolas, relacionando su biosíntesis, señalización y manejo tecnológico con estrategias de conservación y reducción de pérdidas. La metodología consistió en una revisión bibliográfica narrativa, con selección de publicaciones científicas nacionales e internacionales sobre fisiología poscosecha, biotecnología vegetal, inhibición de la acción del etileno y tecnologías de almacenamiento. Los resultados indican que el etileno presenta efectos distintos según la especie, el estado de maduración y la clasificación

climatérica o no climatérica del producto. En frutos climatéricos, como banana, tomate, manzana y mango, la producción autocatalítica de etileno acelera cambios de color, textura, aroma y composición química; en hortalizas y frutos sensibles, bajas concentraciones externas pueden inducir amarillamiento, marchitez o pérdida comercial. Tecnologías como refrigeración, atmósfera modificada, remoción de etileno, aplicación de 1-metilciclopropeno y mejoramiento biotecnológico contribuyen a prolongar la vida útil cuando se aplican de manera integrada. Se concluye que el etileno no debe tratarse solo como agente de deterioro, sino como herramienta fisiológica y tecnológica para organizar cosecha, almacenamiento, transporte y comercialización de productos agrícolas.

Palabras-clave: Fisiología vegetal. Poscosecha. Maduración. 1-metilciclopropeno. Horticultura.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna depende cada vez mais de decisões técnicas capazes de articular produtividade, qualidade comercial, sustentabilidade e redução de perdas ao longo da cadeia de abastecimento. Nesse cenário, a conservação de frutas e hortaliças ocupa posição estratégica, pois esses produtos apresentam elevada atividade metabólica, alto teor de água e grande sensibilidade a injúrias mecânicas, temperatura inadequada e exposição a gases reguladores do amadurecimento. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura destacou que perdas de alimentos continuam relevantes entre a colheita e o varejo, com maior gravidade em cadeias perecíveis, o que reforça a necessidade de tecnologias pós-colheita baseadas em conhecimento fisiológico (FAO, 2019).

Entre os reguladores vegetais, o etileno se diferencia por ser um hormônio gasoso, ativo em baixas concentrações e capaz de atuar tanto como sinal fisiológico necessário quanto como fator de aceleração da deterioração. Em frutas climatéricas, sua produção está associada ao aumento respiratório e à progressão do amadurecimento; em hortaliças folhosas e flores, a exposição externa pode desencadear amarelecimento, abscisão ou senescência precoce. Por isso, o manejo do etileno é decisivo para definir o ponto de colheita, conduzir o amadurecimento comercial, prolongar a vida útil e preservar atributos sensoriais (Saltveit, 1999; Barry & Giovannoni, 2007).

A relevância do etileno não se limita à pós-colheita. O hormônio participa de processos de crescimento, resposta a estresses bióticos e abióticos, germinação, floração, formação de raízes adventícias, abscisão e defesa vegetal. Na horticultura, entretanto, seu papel é particularmente visível porque altera características diretamente percebidas pelo mercado, como cor, firmeza, aroma, sabor, textura e aparência. Liu *et al.* (2015) demonstram que o controle do amadurecimento envolve uma rede complexa de regulação transcricional, na qual genes de biossíntese e sinalização do etileno interagem com fatores de transcrição e outras rotas hormonais.

O problema que orienta este artigo pode ser formulado da seguinte maneira: de que modo o conhecimento sobre etileno pode contribuir para a conservação e a qualidade de frutas e hortaliças na agricultura moderna? A pergunta é pertinente porque o mesmo hormônio que permite amadurecimento uniforme e padronização de lotes também pode reduzir a vida útil quando não monitorado durante armazenamento, transporte e comercialização. Assim, o desafio técnico não é eliminar o etileno de modo absoluto, mas compreender quando estimular, reduzir, bloquear ou remover sua ação conforme a espécie, o estádio fisiológico e o objetivo comercial (Martínez-Romero *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2020).

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura acerca do papel do etileno na agricultura moderna, com enfoque em frutas e hortaliças, abordando sua biossíntese, mecanismos de sinalização, funções fisiológicas e aplicações no manejo pós-colheita. Especificamente, busca-se caracterizar a biossíntese e a sinalização do etileno; diferenciar as respostas de produtos climatéricos e não climatéricos; examinar estratégias de conservação baseadas no controle desse hormônio; e discutir sua contribuição para a redução de perdas e a agregação de valor na cadeia hortifrutícola.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

Este estudo foi desenvolvido como uma revisão bibliográfica narrativa, de caráter qualitativo e finalidade descritivo-analítica. A revisão narrativa foi escolhida por permitir a sistematização de conceitos fisiológicos e tecnológicos sobre o etileno, sem a rigidez estatística de uma revisão sistemática ou metanálise. O foco recaiu sobre a compreensão integrada do tema, reunindo fundamentos de fisiologia vegetal, pós-colheita, conservação de frutas e hortaliças, biotecnologia e tecnologias de armazenamento (Cervo *et al.*, 2007).

2.2 Procedimentos de seleção e análise

Os materiais foram obtidos por meio de buscas em bases e portais acadêmicos utilizando os descritores “etileno”, “amadurecimento”, “pós-colheita”, “frutas climatéricas”, “1-metilciclopropeno”, “ethylene fruit ripening”, “postharvest quality” e “ethylene scavengers”. Foram incluídos estudos relacionados à biossíntese, sinalização e manejo do etileno em frutas e hortaliças, sendo excluídos trabalhos sem autoria identificada ou sem relação direta com o tema.

Após a seleção, foram utilizados 11 trabalhos para compor esta revisão de literatura. A análise consistiu na identificação dos principais conceitos sobre biossíntese, percepção e resposta ao etileno, organizando as informações nos eixos de fisiologia do amadurecimento, qualidade pós-colheita, tecnologias de controle e perspectivas biotecnológicas. Por se tratar de uma revisão bibliográfica, não houve experimentação ou coleta direta de dados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Fundamentos fisiológicos do etileno

O etileno, quimicamente representado por C_2H_4, é uma molécula simples, gasosa e altamente difusível, o que favorece sua rápida distribuição nos tecidos vegetais e no ambiente de armazenamento. Diferentemente de hormônios transportados por tecidos condutores, o etileno pode se acumular em câmaras, embalagens, contêineres e ambientes fechados, afetando produtos próximos mesmo quando estes não são grandes produtores do gás. Essa característica explica por que uma carga mista, mal planejada, pode acelerar a perda de qualidade de hortaliças sensíveis quando armazenada junto a frutas produtoras de etileno (Saltveit, 1999; Kader, 2013).

A via biossintética do etileno tem como precursor a metionina, que é convertida em S-adenosilmetionina (SAM), posteriormente em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) pela enzima ACC sintase, e finalmente em etileno pela ACC oxidase. A identificação do ACC como intermediário foi um marco para compreender a regulação bioquímica da produção de etileno, pois permitiu relacionar atividade enzimática, expressão gênica e resposta fisiológica durante amadurecimento e senescência (Adams & Yang, 1979).

A percepção do etileno ocorre por receptores localizados principalmente no retículo endoplasmático, os quais regulam uma cascata de sinalização que envolve proteínas como CTR1, EIN2, EIN3/EIL e fatores de resposta ao etileno. Quando o hormônio é percebido, ocorre reprogramação transcricional de genes ligados a degradação de parede celular, metabolismo de pigmentos, síntese de compostos voláteis e alteração de açúcares e ácidos orgânicos. Assim, o amadurecimento não é um evento isolado, mas um conjunto coordenado de respostas moleculares, bioquímicas e estruturais (Liu *et al.*, 2015; Tipu *et al.*, 2024).

Quadro 1 – Principais efeitos do etileno em produtos hortícolas.

Processo fisiológico	Efeito esperado	Exemplos de produtos	Implicação pós-colheita
Amadurecimento	Mudança de cor, aroma, sabor e textura	Tomate, banana, manga, maçã	Pode uniformizar lotes ou acelerar deterioração
Senescência	Perda de clorofila, murcha e abscisão	Brócolis, alface, flores e folhas	Reduz valor comercial e aparência
Resposta a estresse	Aumento de síntese sob ferimentos, frio ou patógenos	Diversas frutas e hortaliças	Exige controle de manejo, temperatura e danos
Abscisão	Separação de folhas, frutos ou flores	Citros, maçã, flores ornamentais	Pode causar queda prematura ou facilitar colheita

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Saltveit (1999), Barry & Giovannoni (2007), Liu *et al.* (2015) e Tipu *et al.* (2024).

3.2 Frutos climatéricos, não climatéricos e sensibilidade ao etileno

A distinção entre frutos climatéricos e não climatéricos é fundamental para interpretar o papel do etileno. Frutos climatéricos apresentam aumento acentuado da respiração e da produção autocatalítica de etileno durante o amadurecimento, podendo amadurecer após a colheita quando as condições fisiológicas são adequadas. Banana, tomate, maçã, manga, mamão, pera, pêssego e abacate são exemplos frequentemente utilizados para demonstrar essa dinâmica. Nesses produtos, o controle do etileno permite programar amadurecimento, escalonar comercialização e reduzir perdas por amadurecimento desuniforme (Barry & Giovannoni, 2007; Zhang *et al.*, 2020).

Em frutos não climatéricos, como uva, morango, citros e abacaxi, não ocorre uma elevação autocatalítica típica da produção de etileno semelhante à observada nos climatéricos. Isso não significa ausência de resposta ao hormônio, mas indica que o amadurecimento depende de outros reguladores e de processos combinados, como ácido abscísico, auxinas, jasmonatos e fatores ambientais. Estudos recentes reforçam que o etileno também pode participar de respostas em frutos não climatéricos, especialmente em amolecimento, coloração e senescência, ainda que a dependência varie conforme espécie e estádio (Liu *et al.*, 2024; Tipu *et al.*, 2024).

Quadro 2 – Exemplos de produtos e respostas relacionadas ao etileno.

Grupo	Exemplos	Resposta predominante ao etileno
Frutos climatéricos	Banana, tomate, manga, mamão, maçã	Estimula amadurecimento, cor, aroma e amolecimento
Frutos não climatéricos	Uva, morango, citros, abacaxi	Resposta variável; pode afetar senescência e alguns atributos de qualidade
Hortaliças folhosas e inflorescências	Alface, brócolis, couve, flores	Acelera amarelecimento, abscisão e perda visual
Produtos sensíveis ao armazenamento misto	Folhosas próximas a maçã ou banana	Podem perder qualidade pela exposição ao etileno externo

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Saltveit (1999), Kader (2013) e Cocetta & Natalini (2022).

3.3 Impactos sobre qualidade, conservação e perdas pós-colheita

A qualidade pós-colheita resulta da interação entre atributos visuais, sensoriais, nutricionais e sanitários. O etileno interfere em vários desses atributos porque regula enzimas relacionadas à degradação de clorofila, solubilização de pectinas, alteração de compostos aromáticos, metabolismo de ácidos orgânicos e conversão de amido em açúcares. Em determinadas situações, essas alterações são desejáveis, pois tornam o produto próprio para consumo; em outras, antecipam senescência e descarte. Portanto, o valor agronômico do etileno depende do objetivo de manejo (Liu *et al.*, 2015).

O amadurecimento comercial de bananas é um exemplo de uso positivo do etileno, pois a aplicação controlada permite padronizar a coloração e reduzir a heterogeneidade entre frutos. Situação semelhante ocorre com tomate destinado a mercados que exigem cor uniforme e janela previsível de comercialização. Entretanto, quando o etileno se acumula sem controle em câmaras, caminhões ou embalagens, pode acelerar a deterioração de produtos já próximos ao limite de consumo. Essa ambivalência mostra que a tecnologia não se resume a aplicar ou bloquear o hormônio, mas a manejar dose, tempo e ambiente (Martínez-Romero *et al.*, 2007).

A redução de perdas pós-colheita tem importância econômica, social e ambiental. Produtos descartados incorporam perdas de água, energia, insumos, trabalho e área cultivada, além de representar menor disponibilidade de alimentos. A FAO (2019) enfatiza que perdas e desperdícios alimentares afetam segurança alimentar, sustentabilidade e eficiência dos sistemas produtivos. No caso de frutas e hortaliças, a perecibilidade aumenta a necessidade de tecnologias de conservação que preservem qualidade desde a colheita até o consumidor final.

3.4 Tecnologias de manejo do etileno

O manejo do etileno pode ocorrer por diferentes estratégias: redução da síntese, bloqueio da percepção, remoção do gás do ambiente, controle da temperatura, modificação da atmosfera e separação logística entre produtos produtores e sensíveis. A refrigeração continua sendo uma das ferramentas mais eficientes porque diminui o metabolismo, a respiração e, em muitos casos, a produção de etileno. Contudo, a temperatura precisa respeitar a sensibilidade de cada espécie ao frio, pois frutos tropicais podem sofrer injúria por frio quando armazenados abaixo da faixa adequada (Kader, 2013).

O 1-metilciclopropeno, conhecido como 1-MCP, é uma das tecnologias mais estudadas para inibir a ação do etileno. Ele se liga aos receptores do hormônio e retarda respostas como amolecimento, produção autocatalítica de etileno e degradação de clorofila. A metanálise de Zhang *et al.* (2020) mostrou que os efeitos do 1-MCP variam conforme espécie, concentração, temperatura, tempo de exposição e condições de armazenamento, sendo particularmente relevantes em frutos climatéricos. Isso evidencia que sua eficiência depende de protocolo técnico e não apenas da presença do produto.

Quadro 3 – Estratégias tecnológicas para controlar o etileno na conservação pós-colheita.

Estratégia	Mecanismo principal	Vantagem	Limitação técnica
Refrigeração	Reduz metabolismo e respiração	Ampla aplicação e baixo risco quando bem dimensionada	Pode causar injúria por frio em espécies tropicais
1-MCP	Bloqueia a percepção do etileno	Retarda amadurecimento e senescência	Pode comprometer aroma ou amadurecimento posterior
Absorvedores de etileno	Removem ou oxidam o gás no ambiente	Úteis em câmaras, transporte e embalagens	Eficiência depende de carga, umidade e renovação
Atmosfera modificada/controlada	Modula O_2 e CO_2	Reduz respiração e prolonga vida útil	Risco de fermentação se mal ajustada
Separação logística	Evita contato entre produtores e sensíveis	Medida simples e preventiva	Exige planejamento de armazenamento e transporte

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Martínez-Romero *et al.* (2007), Zhang *et al.* (2017), Zhang *et al.* (2020) e Wei *et al.* (2021).

3.5 Biotecnologia, melhoramento e agricultura moderna

A biotecnologia ampliou significativamente as possibilidades de compreensão e manejo do etileno na agricultura moderna, pois permitiu identificar, caracterizar e relacionar genes envolvidos na biossíntese, percepção e sinalização desse hormônio vegetal. A partir do avanço das técnicas moleculares, tornou-se possível compreender que o etileno não atua de maneira isolada, mas integra uma rede regulatória complexa, associada a processos como amadurecimento, senescência, abscisão, resposta ao estresse e adaptação das plantas às condições ambientais. Esse conhecimento favoreceu uma visão mais precisa sobre o comportamento fisiológico de frutas e hortaliças após a colheita, permitindo que o manejo pós-colheita fosse planejado com maior base científica e não apenas por observações empíricas (Barry & Giovannoni, 2007).

Um dos marcos fundamentais para o avanço dos estudos sobre o etileno foi a identificação do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico como intermediário na conversão da metionina em etileno. Essa descoberta possibilitou compreender melhor a rota bioquímica de formação do hormônio e abriu caminho para pesquisas voltadas ao controle da sua produção em tecidos vegetais. Ao reconhecer as etapas da biossíntese, tornou-se possível desenvolver estratégias de manejo capazes de interferir na produção ou na ação do etileno, especialmente em produtos hortícolas sensíveis à deterioração rápida. Dessa forma, a biotecnologia passou a contribuir não

apenas para o entendimento fisiológico, mas também para a criação de soluções práticas aplicáveis à conservação de frutas e hortaliças (Adams & Yang, 1979).

No contexto do melhoramento vegetal, o conhecimento sobre o etileno permitiu selecionar cultivares com características pós-colheita mais adequadas às exigências da cadeia produtiva. Em frutas climatéricas, como tomate, banana, manga e maçã, a regulação do etileno é decisiva para definir o ritmo de amadurecimento, a firmeza da polpa, a coloração, o aroma e a vida útil comercial. Por isso, programas de melhoramento podem priorizar materiais que apresentem amadurecimento mais uniforme, menor suscetibilidade ao amolecimento precoce e maior tolerância às condições de transporte e armazenamento. Essa seleção contribui para reduzir perdas, melhorar a padronização dos lotes e aumentar a competitividade dos produtos agrícolas no mercado (Liu *et al.*, 2015).

A agricultura moderna exige cultivares que conciliem produtividade, qualidade sensorial, resistência a estresses e conservação pós-colheita. Nesse cenário, o etileno assume papel estratégico, pois influencia diretamente características valorizadas pelo consumidor, como cor, sabor, textura e aroma, ao mesmo tempo em que pode acelerar perdas quando não é adequadamente controlado. A biotecnologia e o melhoramento genético permitem trabalhar esse equilíbrio, buscando materiais que não percam qualidade organoléptica, mas que apresentem maior estabilidade durante a comercialização. Assim, o objetivo não é eliminar completamente a ação do etileno, mas modular sua intensidade e seu momento de atuação, respeitando as características fisiológicas de cada espécie (Cocetta & Natalini, 2022).

O melhoramento convencional continua sendo importante, especialmente quando associado a ferramentas moleculares, como seleção assistida por marcadores e análise de expressão gênica. Essas estratégias permitem identificar plantas com genes ou regiões genômicas associadas à menor sensibilidade ao etileno, maior firmeza dos tecidos ou retardamento da senescência. Em culturas hortícolas, essas características são relevantes porque muitos produtos apresentam alta perecibilidade e sofrem perdas expressivas entre a colheita e o consumo. A integração entre métodos clássicos e tecnologias moleculares torna o processo de seleção mais eficiente, reduzindo o tempo necessário para obtenção de cultivares com melhor desempenho pós-colheita (Cocetta & Natalini, 2022).

Além do melhoramento genético, a biotecnologia também contribui para o desenvolvimento de tecnologias de conservação associadas ao controle do etileno. Entre essas ferramentas, destacam-se o uso de inibidores de ação hormonal, como o 1-metilciclopropeno, e o emprego de materiais removedores ou absorvedores de etileno em embalagens e ambientes de armazenamento. Essas tecnologias atuam reduzindo os efeitos do hormônio sobre os tecidos vegetais, retardando o amadurecimento e a senescência em produtos específicos. Entretanto, sua eficiência depende da espécie, da cultivar, do estádio de maturação, da temperatura e das condições de armazenamento, o que demonstra a necessidade de aplicação técnica e criteriosa (Martínez-Romero *et al.*, 2007).

O 1-metilciclopropeno representa uma das tecnologias mais estudadas para modulação da ação do etileno, especialmente em frutos climatéricos. Sua ação ocorre pela ligação aos receptores de etileno, bloqueando temporariamente a percepção do hormônio pelos tecidos vegetais. Como consequência, há redução na velocidade

de amadurecimento, manutenção da firmeza, atraso na mudança de coloração e prolongamento da vida útil de diversos frutos. No entanto, os resultados variam conforme a espécie e as condições de aplicação, razão pela qual a tecnologia deve ser utilizada com base em recomendações técnicas específicas e não de forma generalizada (Zhang *et al.*, 2020).

Outra contribuição relevante da biotecnologia e da ciência de materiais está relacionada ao desenvolvimento de absorvedores de etileno aplicados em embalagens ativas e sistemas de armazenamento. Esses recursos permitem reduzir a concentração do hormônio no ambiente, evitando que sua acumulação acelere a maturação ou a deterioração de produtos sensíveis. Embalagens com substâncias capazes de remover etileno podem ser úteis especialmente em cadeias de distribuição longas, nas quais o controle da atmosfera ao redor do produto é essencial. Contudo, sua efetividade depende da taxa de produção de etileno pelo produto, da permeabilidade da embalagem e da manutenção adequada das condições de temperatura e umidade (Wei *et al.*, 2021).

Na agricultura moderna, o manejo do etileno também se relaciona diretamente com a redução de perdas e desperdícios de alimentos. As perdas pós-colheita representam um dos principais desafios da produção agrícola, pois comprometem a disponibilidade de alimentos, reduzem a renda dos produtores e aumentam o impacto ambiental da cadeia produtiva. Ao favorecer cultivares mais resistentes, tecnologias de conservação mais eficientes e sistemas de armazenamento mais adequados, a biotecnologia contribui para tornar a produção de frutas e hortaliças mais sustentável. Nesse sentido, o controle do etileno deve ser compreendido como parte de uma estratégia maior de segurança alimentar, eficiência produtiva e sustentabilidade (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019).

Portanto, a biotecnologia e o melhoramento vegetal transformaram a forma como o etileno é compreendido e manejado na agricultura contemporânea. O hormônio deixou de ser visto apenas como um agente natural do amadurecimento e passou a ser tratado como um componente técnico de grande relevância para a fisiologia vegetal, a qualidade pós-colheita e a organização da cadeia produtiva. A seleção de cultivares, o uso de marcadores moleculares, o desenvolvimento de inibidores, a criação de embalagens ativas e a integração com boas práticas de armazenamento demonstram que o manejo do etileno exige abordagem multidisciplinar. Dessa maneira, sua aplicação adequada pode contribuir para produtos de melhor qualidade, maior vida útil e menor desperdício (Tipu *et al.*, 2024).

3.6 Síntese crítica dos resultados

A análise da literatura evidencia que o etileno deve ser compreendido como um regulador vegetal de dupla função, cuja ação pode ser benéfica ou prejudicial conforme o produto, o momento fisiológico e as condições de manejo. Em frutos climatéricos, o etileno é indispensável para desencadear e coordenar o amadurecimento, promovendo alterações desejáveis de cor, textura, aroma e sabor. Entretanto, quando sua produção ou exposição ocorre de forma descontrolada, o mesmo hormônio pode acelerar a senescência, reduzir a firmeza, favorecer a perda de qualidade visual e diminuir a vida útil comercial. Essa dualidade torna o etileno um dos principais pontos de atenção na fisiologia pós-colheita (Saltveit, 1999).

Os resultados discutidos ao longo do estudo indicam que a compreensão simplificada do etileno como apenas um "gás de amadurecimento" é insuficiente para explicar sua importância na agricultura moderna. O etileno atua como uma molécula sinalizadora complexa, integrada a outras rotas hormonais e metabólicas, influenciando diferentes respostas fisiológicas. Sua atuação envolve interação com hormônios como auxinas, ácido abscísico e giberelinas, além de fatores ambientais, como temperatura, oxigênio, gás carbônico e danos mecânicos. Portanto, a gestão do etileno exige conhecimento técnico, pois sua ação depende de uma combinação de fatores internos e externos ao produto vegetal (Tipu *et al.*, 2024).

A literatura também demonstra que o etileno possui papel central na diferenciação entre frutos climatéricos e não climatéricos. Nos frutos climatéricos, há aumento respiratório e maior produção de etileno durante o amadurecimento, o que permite realizar colheita antes da maturação completa e conduzir o amadurecimento de forma controlada. Já nos frutos não climatéricos, a resposta ao etileno costuma ser mais limitada, embora o hormônio ainda possa influenciar processos de senescência e perda de qualidade. Essa distinção é fundamental para definir práticas de colheita, transporte, armazenamento e comercialização, evitando o uso inadequado de tecnologias de conservação (Barry & Giovannoni, 2007).

Outro ponto crítico identificado é que nenhuma tecnologia isolada é capaz de resolver integralmente o problema das perdas pós-colheita em frutas e hortaliças. O uso de inibidores de etileno, absorvedores, refrigeração ou embalagens especiais apresenta benefícios, mas sua eficiência depende de um conjunto de práticas integradas. Se houver colheita em estádio inadequado, danos mecânicos, falhas de higiene, exposição a temperaturas elevadas ou armazenamento conjunto de produtos incompatíveis, o desempenho dessas tecnologias será limitado. Assim, o manejo do etileno deve fazer parte de um sistema amplo de qualidade, e não ser aplicado apenas como solução corretiva no final da cadeia (Kader, 2013).

A refrigeração permanece como uma das medidas mais importantes para reduzir a atividade metabólica dos produtos hortícolas e controlar os efeitos do etileno. Temperaturas adequadas diminuem a respiração, retardam o amadurecimento e reduzem a produção do hormônio, favorecendo a conservação da qualidade. No entanto, a refrigeração precisa ser ajustada conforme a espécie, pois alguns produtos são sensíveis ao frio e podem apresentar injúrias quando armazenados abaixo da temperatura recomendada. Dessa forma, o controle térmico deve ser articulado com o conhecimento fisiológico do produto, considerando sua sensibilidade ao etileno e sua tolerância às condições de armazenamento (Kader, 2013).

Os estudos sobre inibição da ação do etileno demonstram avanços relevantes, especialmente com o uso do 1-metilciclopropeno. Essa tecnologia apresenta resultados positivos na manutenção da firmeza, no atraso da maturação e na ampliação da vida útil de diversos frutos climatéricos. Contudo, sua aplicação não deve ser interpretada como uma solução universal, pois a resposta depende da cultivar, do estádio de maturação, da dose, do tempo de exposição e das condições posteriores de armazenamento. Além disso, em alguns casos, o bloqueio excessivo da ação do etileno pode afetar atributos sensoriais, como aroma e sabor, o que exige equilíbrio entre conservação e qualidade final ao consumidor (Zhang *et al.*, 2020).

Os absorvedores de etileno também aparecem como alternativa relevante para a preservação de frutas e hortaliças, especialmente em embalagens e câmaras de armazenamento. Ao reduzir a concentração do hormônio

no ambiente, esses materiais ajudam a minimizar os efeitos da exposição contínua ao etileno, principalmente em produtos sensíveis ou armazenados em conjunto. Contudo, a eficiência dessa tecnologia depende da capacidade de absorção, da taxa de produção de etileno pelo produto, da ventilação e da compatibilidade entre os itens armazenados. Portanto, o uso de absorvedores deve ser planejado de forma técnica, considerando as características de cada cadeia produtiva (Wei *et al.*, 2021).

A discussão também permite observar que o manejo inadequado do etileno contribui diretamente para perdas econômicas e desperdício alimentar. Frutas e hortaliças são produtos altamente perecíveis, e pequenas falhas durante colheita, transporte ou armazenamento podem acelerar sua deterioração. Quando o etileno não é monitorado, produtos que produzem grandes quantidades do hormônio podem comprometer a qualidade de outros mais sensíveis, reduzindo o tempo disponível para comercialização. Esse problema afeta produtores, distribuidores, varejistas e consumidores, além de gerar impactos ambientais associados ao descarte de alimentos que demandaram água, energia, solo e insumos para serem produzidos (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019).

Outro aspecto relevante é que a biotecnologia e o melhoramento genético oferecem caminhos promissores para reduzir a dependência exclusiva de tecnologias pós-colheita. A seleção de cultivares com maior vida útil, menor sensibilidade ao etileno ou amadurecimento mais uniforme pode contribuir para cadeias produtivas mais eficientes. No entanto, essa estratégia precisa preservar atributos sensoriais e nutricionais, pois a conservação prolongada não pode ocorrer em prejuízo da qualidade percebida pelo consumidor. Assim, o desafio do melhoramento moderno é equilibrar resistência, produtividade, aparência, sabor e capacidade de armazenamento (Cocetta & Natalini, 2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O etileno exerce papel central na agricultura moderna por conectar fisiologia vegetal, qualidade pós-colheita, biotecnologia e logística de comercialização. Ao regular amadurecimento, senescência, abscisão e respostas a estresses, esse fitormônio influencia diretamente a vida útil e o valor comercial de frutas e hortaliças. A revisão realizada permitiu compreender que sua ação não deve ser interpretada de forma exclusivamente negativa, pois o etileno também é essencial para amadurecimento uniforme, desenvolvimento de aroma, mudança de cor e organização de lotes destinados ao mercado.

Os estudos analisados evidenciam que o impacto do etileno depende da espécie, do estádio de maturação, da sensibilidade do tecido, da temperatura, do tempo de exposição e das condições de armazenamento. Em frutos climatéricos, o controle do hormônio permite retardar ou induzir amadurecimento conforme a necessidade comercial. Em hortaliças e produtos sensíveis, a prevenção da exposição pode preservar aparência, firmeza e qualidade visual. Assim, o manejo do etileno exige diagnóstico técnico e integração com boas práticas pós-colheita.

Conclui-se que o etileno é uma ferramenta estratégica para reduzir perdas, melhorar a qualidade e aumentar a eficiência da hortifruticultura. Para a Engenharia Agronômica, o tema reforça a importância de formar profissionais capazes de interpretar processos fisiológicos e aplicá-los em soluções práticas. Estudos futuros

podem aprofundar a interação entre sensores de etileno, inteligência artificial, embalagens inteligentes e cultivares com respostas específicas ao hormônio, ampliando a sustentabilidade e a competitividade da agricultura moderna.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Anabely Mendes dos Santos contribuiu com levantamento bibliográfico e a análise dos aspectos fisiológicos do etileno. Gabriel Weber contribuiu com a discussão sobre tecnologias pós-colheita. Rudmila da Silva Zanatta contribuiu com a estruturação do manuscrito, organização dos conceitos introdutórios, revisão textual e integração das seções. Vitor Kelvin dos Santos Bieger contribuiu com a organização das tabelas, conferência das referências e revisão final. Dr. Wanderson de Lucena atuou na revisão e orientação acadêmica do estudo.

REFERÊNCIAS

Adams, D. O., & Yang, S. F. (1979). Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *76*(1), 170–174. https://doi.org/10.1073/pnas.76.1.170

Barry, C. S., & Giovannoni, J. J. (2007). Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, *26*, 143–159. https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002-y

Cocetta, G., & Natalini, A. (2022). Ethylene: Management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. A review. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Artigo 968315. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.968315

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction*. FAO. https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf

Kader, A. A. (2013). Postharvest technology of horticultural crops: An overview from farm to fork. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, (Special Issue 1), 1–8.

Liu, M., Pirrello, J., Chervin, C., Roustan, J. P., & Bouzayen, M. (2015). Ethylene control of fruit ripening: Revisiting the complex network of transcriptional regulation. *Plant Physiology*, *169*(4), 2380–2390. https://doi.org/10.1104/pp.15.01361

Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P., Castillo, S., & Valero, D. (2007). Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *47*(6), 543–560. https://doi.org/10.1080/10408390600846390

Saltveit, M. E. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, *15*(3), 279–292. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00091-X

Tipu, M. M. H., Kumar, S., Singh, R., & Yadav, P. (2024). Ethylene and its crosstalk with hormonal pathways in fruit ripening: Mechanisms, modulation, and commercial exploitation. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Artigo 1475496. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475496

Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., & Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, *337*, Artigo 127750. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750

Zhang, J., Ma, Y., Dong, C., Terry, L. A., Watkins, C. B., Yu, Z., & Cheng, Z. M. (2020). Meta-analysis of the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on climacteric fruit ripening. *Horticulture Research*, *7*, Artigo 208. https://doi.org/10.1038/s41438-020-00405-x