



UAAlg FCT

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Sustentabilidade no Manuseamento Pós-colheita de Frutos

Sumário Pormenorizado da Lição

Para apreciação em provas de agregação em Ciências Agrárias de acordo com a alínea iii) do ponto 3 do art. 4º do Regulamento de Atribuição do Título Académico de Agregado da Universidade do Algarve publicado em anexo ao Despacho n.º 2251/2020 ao abrigo do nº 2 do artº 4º do Decreto-Lei nº 239/2007, de 19 de junho

Maria Dulce Carlos Antunes

**Faro
2024**

Índice

Enquadramento	2
Plano da lição – sumário pormenorizado.....	3
1. Introdução.....	3
2. Objetivos	3
3. Metodologia.....	4
4. Conteúdos	4
4.1. Conceito de pós-colheita	4
4.2. Amadurecimento e senescência dos frutos.....	5
4.3. A importância do etileno no amadurecimento dos frutos.....	6
4.4. Caracterização do amadurecimento de frutos climactéricos e não climactéricos	7
4.4.1. <i>O caso específico do kiwi</i>	<i>9</i>
4.5. Fatores pré-colheita que afetam a pós-colheita.....	10
4.6. Índices de maturação à colheita	10
4.7. Manuseamento à colheita.....	11
4.8. Tecnologias básicas para a conservação de fruta fresca	12
4.8.1. <i>Armazenamento no frio.....</i>	<i>12</i>
4.8.2. <i>Alteração da composição atmosférica</i>	<i>12</i>
4.9. Desordens fisiológicas da conservação	14
4.10. Tecnologias emergentes para melhorar a qualidade pós-colheita.....	15
4.10.1. <i>1- Metilciclopropeno (1-MCP).....</i>	<i>16</i>
4.10.2. <i>Películas edíveis</i>	<i>16</i>
4.10.3. <i>Embalagens ativas.....</i>	<i>18</i>
5. Considerações finais	18
6. Bibliografia	19

Enquadramento

A presente lição foi desenvolvida para a candidatura a provas de Agregação de acordo com a alínea c) do número 2 do artigo 5 do Decreto-Lei nº 239/2007 de 19 de junho, onde é requerido ao candidato uma lição sobre um tema no âmbito do ramo do conhecimento em que são prestadas as provas.

A lição que se propõe apresentar tem como tema o manuseamento pós-colheita de produtos hortícolas frescos, especificamente os frutos. A escolha do assunto a tratar na lição, a apresentar no âmbito das provas públicas para a atribuição do título de Agregado, pretende abordar um tema dentro da Unidade Curricular (UC) Tecnologia Pós-colheita, da Licenciatura em Agronomia da Universidade do Algarve, que consiga englobar a investigação científica feita pela candidata ao longo dos últimos 20 anos de carreira.

Estando a nossa investigação focada no desenvolvimento de tecnologias que promovam a melhoria da qualidade e o aumento da vida útil de frutos comercializados em fresco, abordamos nesta lição os aspetos fisiológicos dos frutos relacionados com a pós-colheita e as tecnologias que podem incrementar a qualidade e o poder de conservação dos mesmos.

Nesta aula serão abordados, em primeiro lugar, a importância da tecnologia pós-colheita em produtos hortícolas frescos, numa perspetiva de redução de perdas, numa economia que se pretende circular e sustentável. De seguida serão referidas as características fisiológicas e bioquímicas dos frutos e os seus requisitos pós-colheita. Posteriormente, serão apresentadas tecnologias pós-colheita que solucionam problemas específicos da conservação de frutos em fresco, resultantes da investigação do grupo pós-colheita ao longo dos anos e amplamente divulgada em publicações científicas e congressos relacionados com o tema.

O tema da lição proposto é vasto e poderá ter várias abordagens de uma forma mais aprofundada em tópicos específicos. Embora haja outras metodologias e conteúdos dentro da temática apresentada neste sumário, o tempo definido por Lei para esta lição, levou-nos à escolha da apresentação dos aspetos dentro do tema, que estão mais relacionados com a nossa investigação. O sumário proposto resulta da conjugação da experiência científica pessoal e da formação académica em Ciências Agrárias na área da pós-colheita, cujos objetivos principais são a investigação e o desenvolvimento aplicado, visando a descoberta de alternativas inovadoras para a melhoria da qualidade e capacidade de conservação de produtos hortícolas frescos, que mantenham a qualidade e segurança alimentar e minimizem o impacto ambiental.

Plano da lição – sumário pormenorizado

1. Introdução

Frutas e legumes formam um componente importante da nossa dieta e há uma procura cada vez maior por eles, ocupando o segundo lugar na pirâmide alimentar. Sendo os produtos hortícolas frescos altamente perecíveis, estima-se que, em média, 30% da produção é desperdiçada, principalmente durante o transporte e armazenamento, que é preciso reduzir (FAOSTAT, 2023).

Importa inicialmente definir o conceito de manuseamento pós-colheita como o conjunto de operações a que o produto hortícola está sujeito no período que decorre entre a colheita e o seu consumo. De facto, práticas de produção apropriadas, colheita cuidadosa e embalagem, armazenamento e transporte adequados, todos contribuem para a boa qualidade dos produtos.

Os frutos são produtos altamente perecíveis, pois mesmo após a colheita permanecem metabolicamente ativos e, como perderam a sua fonte, a “planta-mãe”, acabam drenando os recursos disponíveis nas próprias células, acelerando a perda de qualidade durante a maturação e senescência fora da planta. Além disso, estão sujeitos à infeção por microrganismos patogénicos, bem como a desordens fisiológicas, que podem ser minimizadas com boas práticas pós-colheita.

Uma compreensão clara das alterações bioquímicas e fisiológicas em frutos e legumes durante as operações pós-colheita permitirá que as pessoas envolvidas nas operações de manuseamento, transporte e armazenamento regulem os parâmetros críticos, levando à diminuição das perdas, contribuindo assim para a sustentabilidade do setor agrícola e a conservação ambiental.

Sendo produtos biologicamente ativos após a sua colheita, os frutos continuarão a realizar processos metabólicos que os levam à senescência e conseqüente morte, caso não sejam tomadas as medidas necessárias que assegurem a sua qualidade até ao consumo. Em suma, as tecnologias pós-colheita são fundamentais na preservação da qualidade dos frutos, desde o momento da colheita, até à chegada a casa do consumidor final.

2. Objetivos

Os objetivos de aprendizagem, expressos em conhecimentos e competências a desenvolver pelos estudantes na sequência da lição, são os seguintes:

- Perceber a importância da pós-colheita na qualidade e redução de perdas em hortícolas frescos;
- Perceber a fisiologia e bioquímica do amadurecimento dos frutos e o seu comportamento após a separação da “planta-mãe”;
- Conhecer e compreender as tecnologias fundamentais para melhorar a qualidade dos frutos em pós-colheita e os mecanismos subjacentes que determinam e limitam estas técnicas;

- Relacionar a informação pretendida com a forma de a obter e as questões a fazer, e aferir a qualidade e rigor de informação obtida;
- Perceber e desenvolver o espírito crítico relativamente a novas tecnologias em estudo ou de possível investigação futura.

3. Metodologia

A lição corresponde a uma aula teórica de 60 minutos. Transmitem-se os conteúdos fundamentais do tema usando um método expositivo apoiado em recursos multimédia. Apesar da natureza teórica da lição, são apresentados exemplos práticos com o intuito de aplicabilidade autónoma em contexto real. Assim, os conteúdos são apresentados de forma oral, e sequencial, iniciando com a explicitação dos objetivos da aula e o conteúdo a analisar, seguido do desenvolvimento individual de cada tópico do conteúdo, com referência ao enquadramento teórico e a exemplos práticos de aplicação em frutos específicos. Ao longo da lição é proporcionado um ambiente de diálogo com os alunos, promovendo questões relativas aos conteúdos lecionados e usando as suas respostas para debate e troca de ideias, focando-os nas principais noções a reter. Durante a exposição são invocados os conhecimentos adquiridos anteriormente na unidade curricular, para os relacionar com o desenvolvimento do tema da lição. Na parte final é feita uma síntese do tema resumindo todas as noções chave e esclarecer eventuais dúvidas.

4. Conteúdos

4.1. Conceito de pós-colheita

Importa perceber o conceito de pós-colheita e a sua importância. Pós-colheita é o termo utilizado para se referir ao conjunto de técnicas, tecnologias e estudos aplicados após a colheita de uma cultura. O objetivo desse processo é garantir a qualidade, a capacidade de armazenamento e minimizar as perdas dos produtos agrícolas.

Deste modo, a pós-colheita começa no momento em que há a separação do produto da “planta-mãe” e finaliza quando o produto é utilizado no seu consumo final.

O primeiro ponto a considerar é que os produtos hortícolas frescos (frutos e legumes) estão “vivos”, metabolicamente ativos, após a colheita (respiram, transpiram, produzem calor e posteriormente morrem). Além disso, são altamente perecíveis dadas as suas características: tecidos vivos, alto teor de água, sujeitos a degradação patológica, muito diversos em estrutura morfológica, composição e fisiologia geral (todos os diferentes tipos de órgãos vegetais em vários estágios de desenvolvimento).

Mesmo os frutos, objeto desta lição, têm características muito diferentes em termos metabólicos, havendo frutos com vida útil pós-colheita de 8-15 dias (ex: framboesas) e outros que podem durar meses (maçã, pera).

Importa assim, perceber os fatores que influenciam as perdas pós-colheita. Estes podem ser fatores internos (taxa metabólica-respiração, alterações composicionais, alterações morfológicas, distúrbios fisiológicos, senescência geral) e fatores ambientais (mudança de temperatura, danos físicos, patógenos, humidade, roedores, contaminação).

Considerando os frutos, e sendo estes altamente perecíveis, este processo é de extrema importância, visto que grande parte das perdas acontecem durante o manuseamento, armazenamento ou no transporte do produto.

Sendo o principal objetivo reduzir as perdas pós-colheita e preservar os frutos o mais possível com qualidade, é primeiramente importante perceber os processos fisiológicos referentes ao amadurecimento e senescência dos frutos, e seguidamente as formas de manuseamento e tecnologias a aplicar durante as diferentes fases de colheita, embalagem, armazenamento e transporte.

4.2. Amadurecimento e senescência dos frutos

O amadurecimento dos frutos é o conjunto de processos que ocorrem desde os estágios posteriores ao crescimento e desenvolvimento até que o fruto esteja pronto para ser consumido. O amadurecimento dos frutos resulta em alterações nas características de qualidade dos mesmos. A firmeza da polpa dos frutos normalmente amolece, o teor de açúcar aumenta, os níveis de ácido são reduzidos, a cor altera-se e são libertados aromas voláteis, conduzindo ao desenvolvimento do sabor característico da fruta.

Os frutos são entidades biológicas vivas que desempenham uma série de funções metabólicas, duas delas de particular importância que são a respiração e a transpiração. Depois de colhidos os frutos, a sua respiração e transpiração continuam, mas apenas enquanto o fruto puder aproveitar as suas próprias reservas nutritivas e teor de água (Figuerola et al., 2021). É esta capacidade limitada de continuar as funções metabólicas vitais que define os frutos como perecíveis. Compreender a regulação do amadurecimento dos frutos frescos é biologicamente importante e proporciona perceções e oportunidades para controlar a qualidade da fruta, aumentando o seu valor nutricional, melhorar o armazenamento e a redução das perdas (Li et al., 2019).

O desenvolvimento dos frutos pode ser dividido em três estádios principais: crescimento, maturação e senescência. O período de crescimento geralmente envolve divisão celular e alargamento, o que explica o aumento do tamanho do fruto; a maturação começa pouco antes do final do crescimento e culmina com o desenvolvimento do sabor característico do fruto; a senescência é o período em que as vias de síntese química dão lugar a processos de degradação, levando ao envelhecimento e morte do tecido. O amadurecimento dos frutos é, portanto, o resultado de muitas mudanças complexas, algumas interativas, mas muitas independentes umas das outras.

O amadurecimento e a senescência dos frutos compreendem processos bioquímicos complexos e altamente coordenados que envolvem genes associados ao amadurecimento, fatores de transcrição, enzimas, repressores, moléculas sinalizadoras e vias metabólicas nos frutos climatéricos e não-climatéricos (Cherian et al., 2014), que respondem pela qualidade dos frutos, por um lado, e por outro lado, pelas perdas pós-colheita. Durante a maturação dos frutos, ocorre a expressão de genes e/ou ativação de enzimas direcionando para mudanças na cor, sabor, textura e aroma (Li et al., 2019). Todas estas alterações ocorrem de forma coordenada ao longo de um período de alguns dias, geralmente sem qualquer divisão celular ou expansão celular, variando com a espécie e cultivar.

As hormonas vegetais têm um papel muito importante no processo de maturação dos frutos, com efeitos de promoção ou inibição da mesma. O amadurecimento dos frutos é regulado pelo etileno, ácido abscísico, auxinas, ácido jasmónico, brassinosteróides, ácido salicílico, melatonina, fatores de transcrição e fatores ambientais (Kou et al., 2021). Frutos com diferentes padrões respiratórios podem utilizar diferentes mecanismos de regulação do amadurecimento e o processo é controlado por hormonas vegetais isoladamente ou em combinação.

4.3. A importância do etileno no amadurecimento dos frutos

O etileno, o mais simples dos compostos orgânicos que afetam os processos fisiológicos das plantas, é um produto natural do metabolismo das mesmas e é produzido por todos os tecidos das plantas superiores e por alguns microrganismos. Como hormona vegetal, o etileno regula muitos aspetos do crescimento, desenvolvimento e senescência e é fisiologicamente ativo em concentrações muito baixas (menos de 0,1 ppm). A biossíntese do etileno começa com o aminoácido metionina, que é energizado pelo ATP para produzir S-adenosil metionina (SAM). A enzima chave na via, a 1-aminociclopropano-1-carboxilase sintase (ACC sintase), converte SAM em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), que é convertido em etileno pela ação da ACC oxidase (Antunes, 2007).

As taxas de produção de etileno, que dependem do fruto, geralmente aumentam com a sua maturação, lesões físicas, incidência de doenças, aumento de temperaturas até 30 °C e stress hídrico. Por outro lado, as taxas de produção de etileno por frutos são reduzidas pelo armazenamento a baixa temperatura e pela redução de O₂ e níveis elevados de CO₂ no ambiente de armazenamento, variando as suas concentrações com a espécie/cultivar. O aumento da produção de etileno, demonstrado por alguns frutos no início do amadurecimento, é fundamental para a sua indução, mas se este prosseguir muito rapidamente, conduz inevitavelmente à deterioração rápida dos frutos. Inibir a biossíntese de etileno ou removê-lo da atmosfera ao redor dos frutos armazenados, retarda o amadurecimento e é comercialmente importante (Li et al., 2019).

O etileno tem a particularidade de atuar em concentrações muito baixas acelerando a senescência, variando a sensibilidade ao mesmo com a espécie/cultivar. Por exemplo, uma concentração tão baixa

quanto 50 ppb de etileno leva ao amolecimento rápido dos kiwis a 0°C (Antunes, 2008). No ambiente, o etileno pode ser encontrado como poluente atmosférico, proveniente de fontes naturais: plantas, solos, gás natural, combustões naturais; e fontes antrópicas: combustão de carvão, petróleo, motores, fumo de cigarros, borracha exposta ao calor e às radiações ultravioletas.

Apesar dos efeitos indesejáveis referidos, o etileno é utilizado comercialmente para: Acelerar e uniformizar o amadurecimento de frutos climatéricos; uniformizar a cor em citrinos; nos frutos de produção primor, para antecipar a colheita; e para facilitar a colheita mecânica (abscisão).

4.4. Caracterização do amadurecimento de frutos climatéricos e não climatéricos

Com base no seu comportamento fisiológico durante o amadurecimento, os frutos têm sido tradicionalmente categorizados em frutos climatéricos e frutos não climatéricos. Os frutos climatéricos são caracterizados por uma explosão de respiração e produção de etileno no início do amadurecimento dos frutos, enquanto os não climatéricos não apresentam tais características durante o seu amadurecimento.

No amadurecimento dos frutos ocorrem mudanças drásticas em uma série de eventos fisiológicos e bioquímicos, tais como cor, açúcar, ácidos, aroma e textura. Nos frutos climatéricos, estes eventos acontecem juntos, uma vez iniciado o amadurecimento do fruto. Ao contrário, os frutos não climatéricos amadurecem na árvore, e para algumas espécies, mesmo sem um sinal claro de início de amadurecimento (Capino & Faruh, 2021). Há uma grande diferença no processo de amadurecimento entre frutos climatéricos e frutos não climatéricos. O amadurecimento destes dois tipos de frutos é afetado por sinais endógenos e ambientais, exógenos.

As hormonas vegetais desempenham um papel regulador importante no amadurecimento dos frutos (Kou et al., 2021). Os frutos climatéricos e não-climatéricos apresentam resposta e capacidade distintas da síntese de etileno. Sabe-se que o etileno é uma hormona que induz o início do amadurecimento em frutos climatéricos, porém, em frutos não-climatéricos parece haver outros fatores endógenos, além do etileno, envolvidos na indução desse processo (Finger et al., 2023). Apesar da complexa intervenção de vários fatores e hormonas no amadurecimento dos frutos, Kou et al. (2021) sugere que o etileno é o principal regulador do amadurecimento dos frutos climatéricos, e o ácido abscísico desempenha um papel central na regulação do amadurecimento de frutos não climatéricos. Classicamente, os frutos climatéricos podem amadurecer plenamente se forem colhidos no final do seu período de crescimento-início do amadurecimento. Por outro lado, os frutos não climatéricos só podem amadurecer totalmente se lhes for permitido permanecer ligados à “planta-mãe”.

Uma das principais alterações fisiológicas e bioquímicas que ocorrem no amadurecimento dos frutos é a mudança no padrão de respiração. A taxa respiratória do produto é um excelente indicador da atividade

metabólica do tecido e, conseqüentemente, um guia útil para o seu potencial tempo de armazenamento. A taxa respiratória medida como consumo de O₂ ou produção de CO₂ durante o curso do desenvolvimento, maturação, e senescência, fornece-nos um padrão respiratório característico do fruto. O padrão respiratório também impacta o padrão de evolução do etileno. Com base nesse padrão, os frutos podem ser classificados em 'climatéricos' e 'não climatéricos'. Alguns frutos apresentam o aumento pronunciado da respiração (aumento de CO₂ e C₂H₄) coincidente com o amadurecimento, tal aumento na respiração é conhecido como respiratório climatérico, e esse grupo de frutos é chamado de frutos climatéricos. Os frutos que não apresentam alteração significativa na taxa respiratória e apresentam quantidades insignificantes de etileno durante o seu amadurecimento são considerados não-climatéricos (Paul et al., 2012). Esta classificação é muito importante em pós-colheita, pois condiciona o manuseamento dos frutos. As principais diferenças entre frutos climatéricos e não-climatéricos é apresentada na tabela seguinte:

Quadro 1. Diferenças entre frutos climatéricos e frutos não climatéricos

Frutos climatéricos	Frutos não climatéricos
Frutos que podem amadurecer após a colheita.	Frutos que não amadurecem após a colheita. Amadurecem só na própria planta.
A qualidade dos frutos muda drasticamente após a colheita caracterizada por amolecimento, mudança de cor e doçura, quando colhidos no início do processo de amadurecimento.	A qualidade não muda significativamente após a colheita, exceto pouco amolecimento. Não muda para melhorar as suas características organolépticas.
Exibe um pico respiratório	Não exhibe pico respiratório
Aumento da catálise do etileno	Sem alteração na produção de etileno
Concentrações baixas de etileno (0.1-1.0 µ L/L/dia) são suficientes para induzir autocatálise	Não responde à aplicação de etileno externo, relativamente ao aumento de produção de etileno
Concentrações baixas de etileno (0.1-1.0 µ L/L/dia) induzem o incremento respiratório	Etileno externo causa aumento da respiração
Pico climatérico antecipado por concentrações crescentes de etileno externo.	Aumento respiratório crescente com concentrações crescentes de etileno externo.
Avanço climatérico mesmo após suspensão da aplicação externa de etileno.	Redução do aumento respiratório após suspensão da aplicação externa de etileno.

O processo de amadurecimento dos frutos é normalmente visto distintamente em frutos climatéricos e não climatéricos. No entanto, alguns frutos mostram comportamento climatérico atípico dependendo da cultivar/genótipo ou até das condições ambientais (Antunes & Sfakiotakis, 2002a; Paul et al., 2012).

Estudos detalhados sobre genética, juntamente com a aplicação da investigação '-ômica' indicam que vias metabólicas etileno-dependentes e etileno-independentes coexistem em frutos climactéricos e não-climatéricos. Os níveis de auxinas também interagem com o etileno na regulação do amadurecimento (Paul et al., 2012). Recentemente, a interação com outras hormonas como ácido abscísico, auxinas, ácido jasmônico, giberelinas, brassinosteroides, ácido salicílico e melatonina têm vindo a demonstrar um papel

importante no amadurecimento dos frutos, fornecendo a base para expandir a compreensão da importância das hormonas vegetais, esclarecer a rede de regulação hormonal e fornecer uma base para a manipulação genética direcionada ao amadurecimento dos frutos (Kou et al., 2021).

Estes resultados revelam, portanto, que a classificação dos frutos com base no aumento climatérico e/ou produção de etileno não é muito distinta ou perfeita. No entanto, a presença de um aumento característico dos níveis de CO₂ e de uma explosão de produção de etileno em alguns frutos não climatéricos, bem como a presença do sistema autocatalítico de produção de etileno em frutos climatéricos aponta para um papel universal do etileno no amadurecimento dos frutos.

4.4.1. O caso específico do kiwi

O kiwi, tipicamente considerado climatérico, é um dos frutos que apresenta comportamento atípico, comportando-se como climatérico à temperatura ambiente, e comportamento não climatérico a temperaturas ≤ 10 °C (Stavroulakis and Sfakiotakis, 1993; Antunes et al, 2000). Stavroulakis & Sfakiotakis (1993) encontraram um intervalo crítico (11°–14,8°C) acima do qual a produção autocatalítica de etileno ocorreu durante o amadurecimento do kiwi (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) induzido pela aplicação externa de propileno (análogo do etileno), enquanto que abaixo deste intervalo crítico de temperatura, o propileno foi incapaz de desencadear a produção autocatalítica de etileno.

Antunes e Sfakiotakis (2000) investigaram as vias da biossíntese de etileno na mesma cultivar a 10 e 20 °C. Verificaram que o kiwi a 20 °C, em ambiente livre de etileno externo, iniciou a autocatálise da produção de etileno e amadureceu 19 dias após a colheita, com o aumento concomitante da respiração. Também se verificou que a autocatálise de etileno e respiração começaram mais cedo com a aplicação de concentrações crescentes de propileno, comprovando o comportamento típico de frutos climatéricos. Por outro lado, a 10 °C o kiwi não apresentou aumento da produção de etileno mesmo quando tratado com propileno, embora mostrasse um aumento na respiração, comportamento típico de frutos não climatéricos. Ao aplicar etileno externo, todos os kiwis amadureciam, mas mais rapidamente a 20 °C do que a 10 °C, realçando a influência do etileno nos processos de amadurecimento dos frutos.

Também se verificou que o amadurecimento dos frutos prosseguiu imediatamente após o tratamento com propileno, enquanto a autocatálise do etileno necessitou de um período de 24 ± 72 h. Este último acontecimento foi atribuído ao atraso encontrado na indução da atividade da ACC sintase e, conseqüentemente, ao aumento tardio do teor de ACC. Contrariamente, o propileno induziu a atividade da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilatoxidase (ACC oxidase) de imediato. Além disso, a transcrição dos genes da ACC sintase e da ACC oxidase só se verificou em kiwi a 20 °C. Em contrapartida, o kiwi tratado com propileno a 10 °C mostrou inibição da produção de etileno, que foi atribuído às baixas atividades da ACC sintase e da ACC oxidase, bem como ao baixo nível inicial de ACC. Estudos moleculares mostraram que os frutos tratados com propileno a 10 °C foram capazes de transcrever o gene da ACC oxidase, mas

não o da ACC sintase, mostrando que a principal razão para o comportamento atípico do kiwi é a inibição da transcrição da enzima ACC sintase a temperaturas ≤ 10 °C (Antunes et al, 2000).

Por outro lado, verifica-se que kiwis danificados mecanicamente ou por patógenos, são capazes de produzir etileno a baixas temperaturas, demonstrando que os genes que codificam as enzimas ACC sintase e ACC oxidase são constituídos por famílias multigênicas com diferentes membros e padrões de regulação (Liu et al., 2020).

4.5. Fatores pré-colheita que afetam a pós-colheita

Por definição, pós-colheita = após a colheita, mas está fortemente relacionado com fatores pré-colheita porque estes influenciam a qualidade pós-colheita. A qualidade do produto, determinada na colheita, depende da forma como decorreu o ciclo cultural e o estado de maturação à colheita.

As práticas culturais têm um efeito muito importante sobre a qualidade do produto hortícola à colheita e na sua vida útil pós-colheita. Adicionalmente, para além de espécies diferentes terem comportamento diferente, é sabido que algumas cultivares são melhores e têm uma vida útil mais longa do que outras. Além disso, fatores ambientais, como tipo de solo, temperatura, geada e tempo chuvoso à colheita, podem ter um efeito adverso sobre vida útil e qualidade no armazenamento. As práticas culturais também podem afetar a qualidade pós-colheita. Produto que foi sujeito a stress hídrico, alto teor de azoto e/ou boro, baixo teor de cálcio e/ou potássio, ou lesões mecânicas é particularmente suscetível a doenças e desordens fisiológicas na pós-colheita (Gago et al., 2016; Yahia et al., 2019).

4.6. Índices de maturação à colheita

Os princípios que determinam a fase em que os frutos devem ser colhidos são cruciais para a sua posterior capacidade de armazenamento, a sua vida útil no mercado, o seu transporte e a qualidade com que chegam à mesa dos consumidores. Os índices de colheita são definidos em termos da maturação fisiológica ou da maturação comercial dos frutos. A maturação fisiológica refere-se a uma fase do desenvolvimento em que ocorreu o crescimento e a maturação máximos, correspondendo ao amadurecimento completo em frutos, à qual se segue a senescência. A maturação comercial diz respeito ao momento da colheita relacionado com uma utilização final específica que pode ser traduzida em necessidades do mercado (armazenamento ou consumo imediato). A senescência é a última etapa, caracterizada pela degradação natural do fruto, como a perda de textura, sabor, etc., culminando com a morte dos tecidos.

A maturação de frutos à colheita deve satisfazer os seguintes critérios (Camelo, 2004):

- i) Deve encontrar-se numa fase que lhe permita estar no seu estado ótimo quando chegar ao consumidor;
- ii) Deve estar num estado de maturação que lhe permita desenvolver-se com sabor e aparência aceitáveis;
- iii) Deve ter o tamanho e forma exigidos pelo mercado;

iv) Deve ter uma capacidade de armazenamento e vida de prateleira adequados.

A colheita de frutos no nível de maturação adequado é muito importante para o sucesso do seu armazenamento. Com base em observações atentas de qualidade e capacidade de conservação, os índices de maturação são fixados para as várias espécies e cultivares. Estes índices de maturação baseiam-se em características físico-químicas, como o seu peso, forma, tamanho, sólidos solúveis totais, relação açúcar/ácido, cor da epiderme /polpa, aroma, firmeza/textura, acidez, teor de sumo, teor de lípidos, matéria seca, teor de amido, transmissão de luz incidente, e outras unidades arbitrárias como os dias após a floração.

Importa aqui referir a principal separação entre frutos climatéricos e frutos não climatéricos relativamente à colheita, como referido no capítulo anterior. Frutos climatéricos podem ser colhidos no início do processo de maturação, pois podem amadurecer fora da “planta-mãe”, enquanto que os frutos não-climatéricos só amadurecem ligados à “planta-mãe” e por isso são colhidos maduros ou muito perto da maturação completa.

4.7. Manuseamento à colheita

Devido à alta perecibilidade dos produtos hortícolas, os cuidados à colheita são da maior importância para se manter a qualidade. Primeiramente, frutos e vegetais devem ser colhidos no estágio ótimo e para isso tem de se verificar os índices de maturação adequados para a colheita de cada produto. Frutos imaturos ou excessivamente maduros não podem durar tanto tempo em armazenamento quanto aqueles colhidos no devido estado de maturação (Backmann & Earles, 2000).

A colheita deve ser feita com cuidado para que os frutos, principalmente os destinados ao armazenamento, estejam livres de ruturas na epiderme, pisaduras, manchas, podridões, ou outra deterioração. Deve ter-se especial atenção aos danos mecânicos ou contaminações existentes, separando esses frutos. Contusões e outros danos mecânicos, não afetam apenas a aparência, mas também fornecem entrada para patógenos, perdas de água e aumento do metabolismo, acelerando a senescência. As embalagens que acomodam os frutos devem ser desenhadas de modo a serem fáceis de manusear e acomodar os frutos sem os danificar. Também devem possuir canais para circulação do ar, para que o calor libertado na respiração seja eficientemente removido, e possuir a altura apropriada para cada espécie/cultivar, de modo a não haver compressão que provoque deformação dos frutos nas camadas inferiores (Barbosa-Cánovas et al., 2003).

A colheita nas horas mais frescas do dia e o transporte cuidado e rápido para o armazém, são também muito importantes como forma de reduzir a respiração e a transpiração. Dias sem chuva são apropriados porque a água diretamente nos frutos e excessiva humidade aumentam a possibilidade de desenvolvimento de patógenos.

4.8. Tecnologias básicas para a conservação de fruta fresca

4.8.1. Armazenamento no frio

Devido à atividade fisiológica dos produtos hortícolas frescos após a sua colheita, é imperativo reduzir a sua taxa metabólica e transpiração. Dada a importância da temperatura no incremento ou redução dos processos metabólicos, o armazenamento no frio é o primeiro fator a considerar para o prolongamento da vida útil dos produtos hortícolas frescos. Primeiramente temos de considerar a suscetibilidade de cada produto ao frio, para selecionar a temperatura que melhor preserve a qualidade durante mais tempo, pois as várias espécies/cultivares podem ser danificadas por temperaturas diferentes, causando alterações fisiológicas nos tecidos, que abordaremos seguidamente.

Também é importante considerar, para produtos altamente perecíveis (ex. pequenos frutos), o arrefecimento rápido e posterior colocação em câmaras de frio a temperatura constante. Para outros frutos como a maçã, pera ou kiwi, estes podem arrefecer mais lentamente, colocando-os diretamente na câmara de armazenamento à temperatura adequada à sua conservação, tendo em conta que o arrefecimento inicial seja a um ritmo não inferior a 0,5 °C por hora. Há ainda outros frutos que beneficiam de um arrefecimento gradual até que seja atingida a temperatura ótima de armazenamento.

Todas as câmaras de armazenamento de produtos hortícolas frescos devem incluir humidificadores eficientes que mantenham a humidade acima de 90% para reduzir as perdas por transpiração, dado que estes produtos têm um teor elevado de água ($\geq 80\%$). Também o controlo da temperatura deve ser feito de forma eficiente ($\pm 0,5$ °C) para evitar alterações fisiológicas em frutos suscetíveis e a circulação de ar dentro da câmara ser a mínima que garanta a manutenção da temperatura em todos os frutos.

4.8.2. Alteração da composição atmosférica

A redução do oxigénio e a elevação do dióxido de carbono no ambiente de armazenamento, seja intencional, como no armazenamento em atmosfera modificada ou controlada, ou não intencional, devido à respiração, pode ter um efeito benéfico ou prejudicial. A magnitude destes efeitos depende do produto, variedade, idade fisiológica, nível de O₂ e CO₂, temperatura e duração do armazenamento. O interesse na aplicação da alteração da composição da atmosfera, em complemento ao armazenamento no frio, vai depender do seu efeito adicional efetivo na redução do metabolismo do produto (ex. aumento até 3 meses da conservação de peras, maçãs e kiwis) e da necessidade comercial efetiva (ex. não necessária em tomate ou feijão verde devido à sua produção ao longo do ano).

Sabe-se que a redução de oxigénio reduz os processos metabólicos, nomeadamente a respiração e produção de etileno. No entanto, valores muito baixos de oxigénio, usualmente $< 2\%$, induzem a respiração anaeróbica, causando a fermentação e destruição precoce dos hortícolas frescos.

Duas das tecnologias mais utilizadas para a conservação de produtos hortícolas são as atmosferas modificadas (AM) e atmosferas controladas (AC). O uso quer de uma quer de outra auxilia no retardar do amadurecimento e deterioração dos produtos, no alívio ou controle de algumas desordens fisiológicas e no controle de doenças (Singla et al., 2022). Ambas são usadas principalmente para armazenamento, transporte e embalagem de produtos frescos. A atmosfera modificada é uma técnica física, que se refere a qualquer atmosfera com teor de gás diferente do ar normal. É comumente utilizada no embalamento de produtos em materiais que impeçam parcialmente a difusão de gases e modifiquem o ambiente gasoso para reduzir a taxa de respiração, o crescimento e contaminação microbianos, a perda de água e retardar a deterioração (De la Vega et al., 2017). A AM difere da AC no grau de controle da atmosfera, pois na AC as concentrações dos gases são precisas e reguladas por um sistema de controlo de gases, sendo utilizadas para conservar frutos e vegetais por períodos longos.

A AM pode ser passiva e, neste caso, a redução de O_2 e aumento de CO_2 ocorre pelo efeito da respiração do produto e da permeabilidade da embalagem. O equilíbrio é alcançado após algum tempo, dependendo também da temperatura e humidade relativa de armazenamento, que influenciam a taxa respiratória e a permeabilidade da embalagem. Uma vez atingido o equilíbrio, podem ser alcançadas concentrações em torno do produto de 5-10% de O_2 e 1-3% de CO_2 . Estas concentrações permitem retardar o processo de maturação e deterioração, como a degradação da clorofila, amolecimento, escurecimento e redução dos danos causados pelo frio. A AM ativa refere-se à incorporação de aditivos na matriz ou dentro da embalagem para modificar a sua atmosfera e assim prolongar a vida pós-colheita do produto. Podem ser ainda usados absorvedores de O_2 , absorvedores e/ou libertadores de CO_2 e absorvedores de etileno. A AM é utilizada principalmente no embalamento dos produtos para envio e colocação no mercado.

A AC consiste no armazenamento dos produtos hortícolas em câmaras frigoríficas herméticas, nas quais a atmosfera inicial ou normal é substituída por uma atmosfera pobre em oxigénio e mais rica em dióxido de carbono, sendo atmosferas rigorosamente controladas durante todo o período de armazenamento do produto. A composição da atmosfera é ajustada com base nas necessidades do produto e o seu ajuste é feito através de geradores de azoto, absorvedores de CO_2 e etileno, entre outros (Thompson et al., 2018). Da mesma forma, dentro da câmara há controle de temperatura, humidade relativa e circulação de ar. A AC só é bem-sucedida quando combinado com armazenamento no frio. Para alterar a atmosfera normal, utiliza-se basicamente uma mistura de três gases O_2 ou ar atmosférico, CO_2 e N_2 . O N_2 serve inicialmente para retirar o O_2 , protegendo os alimentos da oxidação, reduzir o crescimento de microrganismos e manter em equilíbrio a atmosfera dentro da câmara. O CO_2 elevado reduz a respiração, a ação do etileno e a atividade dos microrganismos.

Existem diferentes sistemas de AC e a sua implementação depende do motivo da sua utilização e do tempo de armazenamento necessário. Na AC convencional a respiração da fruta armazenada pode modificar a

atmosfera, reduzindo os níveis de O₂ e aumentando os níveis de CO₂ até que a atmosfera necessária seja estabelecida. O tempo em que as concentrações adequadas são alcançadas pode ser muito longo, por exemplo, em maçãs pode chegar a 10 dias. Uma vez atingidos os níveis de gás apropriados dentro da câmara, estes são controlados pela introdução de ar externo para regular o O₂ e pela remoção do ar interno com N₂ para controlar o CO₂.

Normalmente é feito o controlo rápido da atmosfera após a selagem da câmara de armazenamento, pois é conhecido por prolongar ainda mais a vida útil dos produtos e manter a sua qualidade (Falagán & Terry, 2018). Neste caso, os níveis baixos de oxigénio são alcançados em menos de dois dias, injetando azoto na câmara. As concentrações desejadas de CO₂ podem ser atingidas através da respiração dos produtos, ou injeção inicial de CO₂. Este controlo rápido da atmosfera é o mais utilizado para a conservação de produtos que beneficiam de atmosfera controlada. A manutenção dos valores de O₂ e CO₂ é feita automaticamente por sistemas que englobam programas de medição periódica dos gases (IRGA) e injeção de ar ou azoto.

Considera-se que o valor mais baixo de oxigénio para os produtos não entrarem em anaerobiose é de 2%. No entanto, alguns produtos beneficiam de valores mais baixos de O₂ e, neste caso, chama-se ultra-baixo nível de oxigénio (ULO). Este é o caso do kiwi, que sendo normalmente armazenado a 2% O₂ + 5% de CO₂, prolongando a vida útil 2-3 meses em relação à atmosfera normal, tem um incremento de 1-2 meses na mesma se for armazenado a 1% de O₂ + 1% de CO₂ (Antunes & Sfakiotakis, 2002b). Se o nível de oxigénio chegar a 0,7% o kiwi entra em anaerobiose.

Em relação aos níveis altos de CO₂, os seus valores ótimos variam muito entre produtos, indo de valores não superiores a 1% por exemplo no caso da pera 'Rocha' (Gago et al., 2015a) a 5% em kiwi (Antunes & Sfakiotakis, 2002b) ou 15% no caso de uva de mesa (Crisosto et al., 2002). O principal problema com níveis elevados de CO₂ é o desenvolvimento ou agravamento de desordens fisiológicas nos produtos armazenados. Num trabalho feito em pera 'Rocha', verificou-se que atmosfera controlada de 3% O₂ + 0,9% CO₂, reduziu consideravelmente o desenvolvimento das desordens fisiológicas designadas escaldão superficial e acastanhamento interno (Gago et al., 2015a).

4.9. Desordens fisiológicas da conservação

As desordens fisiológicas no armazenamento de longo prazo, correspondem a respostas fisiológicas ao stress e são um grande problema no que diz respeito às perdas pós-colheita em produtos hortícolas suscetíveis. A fisiologia da desordem e as tecnologias pré e pós-colheita que reduzem esses distúrbios fisiológicos têm um grande impacto na indústria pós-colheita.

As desordens fisiológicas que ocorrem em frutos e vegetais são lesões por frio, por congelamento, por calor, distúrbios devido a desequilíbrios de nutrientes pré-colheita, degradação de frutos e vegetais devido a concentrações muito baixas (< 1-2%) de oxigénio e elevadas (> 1-20%) de dióxido de carbono, sendo os

valores dependentes da espécie e cultivar. No caso dos frutos, também o estado de maturação pode influenciar o aparecimento de desordens fisiológicas no armazenamento.

As lesões por frio (*chilling*) ocorrem quando os produtos hortícolas são mantidos a temperaturas acima do seu ponto de congelação e abaixo de cerca de 15 °C, dependendo do fruto. Tanto o tempo quanto a temperatura estão envolvidas nas lesões por frio. Os danos podem ocorrer em pouco tempo se as temperaturas estiverem consideravelmente abaixo do limiar, no entanto, alguns produtos podem suportar temperaturas alguns graus abaixo da temperatura recomendada, durante algum tempo. Noutras culturas, os efeitos da lesão por frio são cumulativos. Baixas temperaturas durante o transporte de produtos hortícolas, ou mesmo no campo pouco antes da colheita, podem incrementar as desordens fisiológicas que podem ocorrer em armazenamento no frio (Backmann & Earles, 2000). As lesões por frio são mais comuns em frutos de origem tropical ou subtropical, manifestando-se numa variedade de sintomas, que incluem descoloração superficial e/ou interna, corrosão superficial (*pitting*), aparecimento de manchas translúcidas na polpa (*water-soaked areas*), áreas necróticas (manchas castanhas/pretas), maturação irregular ou falha na maturação, acastanhamento interno e escaldão superficial. A lesão por frio, geralmente, é notada após a transferência dos frutos para a temperatura ambiente (correspondendo ao período de comercialização - vida de prateleira) (Antunes, 2008; Gago et al., 2015a,b; 2016; 2022).

As desordens fisiológicas também são incrementadas por condições pré-colheita, como deficiência de cálcio e/ou potássio ou excesso de azoto e/ou boro. Também, alguns tratamentos pós-colheita podem potenciar o aparecimento de desordens fisiológicas em armazenamento como o tratamento de maçã, suscetível ao *bitter pit*, com 1- metilciclopropeno (1-MCP) (Gago et al., 2015b). O tratamento dos frutos com cálcio em pós-colheita pode reduzir esta sintomatologia (Gago et al., 2016).

4.10. Tecnologias emergentes para melhorar a qualidade pós-colheita

Para melhorar a qualidade e incrementar a vida útil dos produtos hortícolas, podem ser aplicados vários tratamentos pós-colheita antes do seu armazenamento. Nas últimas décadas, além da abordagem tradicional (frio e atmosfera controlada), foram estudados e implementados, nalguns casos, tratamentos físicos e químicos pós-colheita avançados (ex: embalagem ativa, imersão, impregnação a vácuo, aquecimento convencional, campo elétrico pulsado, alta pressão hidrostática e frio plasma) e técnicas de bio-controle para preservar o valor nutricional e a segurança alimentar de produtos frescos (Palumbo et al., 2022). A aplicação destas metodologias após a colheita é útil quando se trata de perda de qualidade devido à longa duração no armazenamento e transporte de produtos para mercados distantes.

Um estudo recente mostrou um aumento exponencial na investigação pós-colheita de hortícolas frescos ao longo das últimas três décadas, com cerca de 65% dos trabalhos publicados na última década (2010–2020) (Karoney et al., 2024). A investigação mostra que a redução das perdas pós-colheita tem sido o foco principal das inovações, mudando o controle químico comum para a pesquisa de estratégias de controle

alternativas. O mais notável é a mudança para compostos à base de plantas, revestimentos edíveis e biofilmes para controle de doenças e extensão da vida útil dos produtos frescos.

No laboratório de pós-colheita da Universidade do Algarve tem-se procedido ao estudo destas técnicas inovadoras, como forma de resposta a problemas emergentes do setor da pós-colheita.

4.10.1. 1- Metilciclopropeno (1-MCP)

O composto 1-metilciclopropeno (1-MCP) é amplamente reconhecido como capaz de influenciar o amadurecimento dos frutos e melhorar a qualidade pós-colheita na maioria dos frutos climatéricos, por bloquear os recetores de etileno e inibir a sua produção nos tecidos vegetais, por longos períodos (Blankenship e Dole, 2003; Watkins, 2008; Gago et al., 2015b). Os efeitos benéficos do 1-MCP na redução da respiração e produção de etileno, atraso no amadurecimento dos frutos e alívio de certas desordens fisiológicas pós-colheita, como o escaldão superficial, têm também sido documentados em maçã e pera (Watkins, 2008; Gago et al., 2015a-b, Jia et al., 2018).

Os primeiros trabalhos com 1-MCP no laboratório de pós-colheita surgiram por proposta da empresa AgroFresh Inc. (Espanha), como tentativa da substituição da difenilamina, um antioxidante amplamente utilizado para mitigar os efeitos das baixas temperaturas de armazenamento no desenvolvimento do escaldão superficial em pera 'Rocha', que foi suspenso pela Comissão Europeia em 2013 devido a potenciais perigos para a saúde humana (Gago et al., 2015a). Na pera 'Rocha' o escaldão superficial é uma desordem fisiológica que causa problemas significativos em armazenamento prolongado, tendo a aplicação de 1-MCP sido considerada uma alternativa, no seu controlo, devido ao seu efeito antioxidante e inibidor do etileno (Isidoro & Almeida, 2006; Gago et al., 2015a; 2022).

No entanto, o tratamento com 1-MCP também pode agravar desordens fisiológicas como o *bitter pit* e o acastanhamento difuso da epiderme (DSB), especialmente em maçãs da cultivar 'Golden Delicious' (Larrigaudière et al., 2010; Gago et al., 2015b). Estudos posteriores em maçã 'Golden Delicious', mostraram que tratamentos pré e pós-colheita com cálcio, reduziram significativamente o desenvolvimento de *bitter pitt*, aproveitando o benefício do 1-MCP no prolongamento da capacidade de armazenamento e redução do escaldão superficial, em concentrações específicas (Gago et al., 2016).

4.10.2. Películas edíveis

Outra das tecnologias emergentes é a utilização de revestimentos edíveis, que podem ser aplicados a uma ampla gama de frutos para regular a troca de humidade e gases entre os frutos e o seu ambiente (Pham et al., 2023). Além disso, os revestimentos edíveis proporcionam um benefício significativo permitindo a integração de diferentes ingredientes ativos na matriz do revestimento, o que significa que estas substâncias se associarão e possivelmente serão consumidas junto com a fruta. Isso pode ajudar a

melhorar as qualidades organolépticas e nutricionais dos frutos, a redução do desenvolvimento microbiano, bem como a sua vida útil, podendo ser aplicadas a frutos inteiros ou minimamente processados.

Filmes e revestimentos edíveis surgiram como um método promissor para melhorar a qualidade dos alimentos, aumentar o prazo de vida útil e reduzir o desperdício ambiental. Películas edíveis (filmes e revestimentos) são camadas finas de polímeros edíveis, com propriedades de barreira e integridade estrutural, adequadas para proteger o alimento do ambiente externo, resultando assim na extensão da sua vida útil (Yadav et al., 2021). Os revestimentos e formulações são feitos de polímeros edíveis que estão abundantemente disponíveis na natureza, ecológicos, não tóxicos, biodegradáveis e que podem ser consumidos junto com o produto alimentar (Cheng et al., 2021). As películas edíveis podem ser categorizadas com base na sua matriz polimérica: à base de polissacáridos (amidos, gomas, quitosana), à base de proteínas (zeína, glúten, gelatina), lipídios (óleos vegetais, ceras) e compósitos constituídos por misturas ou multicamadas combinando hidrocolóides ou lipídios (Kumar et al., 2022).

As películas edíveis possuem vários benefícios, incluindo a capacidade de conservar a qualidade e frescura dos alimentos, travar a perda de humidade e prevenir a contaminação microbiana. Elas também são um componente importante de sustentabilidade, fornecendo uma alternativa aos tradicionais materiais de embalagem, frequentemente não biodegradáveis, e contribuem para a redução da utilização de plásticos. Filmes e revestimentos edíveis têm também o potencial para diminuir o desperdício alimentar, mantendo a frescura e segurança de alimentos perecíveis, tais como os frutos frescos inteiros ou minimamente processados. Eles também criam uma barreira às trocas gasosas, humidade e outras contaminações externas, retardando o processo de deterioração e prolongando a vida útil do produto (Matloob et al., 2023).

A utilização de óleos essenciais (OEs) pode ser um método alternativo para o controle da degradação de produtos hortícolas numa ótica de sustentabilidade. Estes são produtos de origem vegetal que têm vindo a ganhar popularidade, chamando a atenção de investigadores a nível global, devido à sua biodegradabilidade, por serem ecológicos e económicos e possuírem características de segurança. Os OEs exibem propriedades antimicrobianas, antioxidantes e biorreguladoras. São obtidos de diferentes plantas e as suas propriedades antimicrobianas podem suprimir o crescimento e desenvolvimento de microrganismos em diferentes produtos frescos (Antunes & Cavaco, 2010). Os OEs podem ser usados em soluções ou incorporados na matriz das películas edíveis e aplicados aos frutos por spray ou imersão.

Trabalhos realizados em frutos altamente perecíveis como o medronho, morango, framboesa e maçã minimamente processada, mostraram resultados positivos no aumento da qualidade e conservação destes frutos (Guerreiro et al., 2015a,b,c; Guerreiro et al., 2016a,b). Os efeitos principais incidiram na redução do desenvolvimento microbiano, perda de água e redução da taxa respiratória e da produção de etileno. De notar, no entanto, que a composição dos revestimentos edíveis e a concentração dos seus ingredientes

que melhor contribui para a qualidade dos produtos, pode variar com o tipo de fruto. Por outro lado, tem de se ter em atenção as concentrações dos OEs, para que não alterem as propriedades organoléticas do produto. A seleção de películas edíveis tem de ser feita com base no seu efeito em retardar os processos metabólicos que levam à senescência e ao desenvolvimento microbiano, sem alterar de forma significativa as propriedades sensoriais dos produtos (Guerreiro et al., 2016a,b).

As nanoemulsões oferecem vantagens distintas sobre as emulsões convencionais em películas edíveis. O seu tamanho de partícula nanométrico proporciona clareza ótica, facilita maior dispersão através das membranas celulares, otimiza propriedades físico-químicas e biológicas e aumenta a estabilidade e homogeneidade (Gago et al., 2019). Estudos com revestimentos edíveis baseados em nanoemulsões enriquecidas com OEs, mostraram um valor acrescentado, pelo facto de os ingredientes incorporados poderem ser libertados lentamente ao longo do tempo (Gago et al., 2019; 2020; 2022). Estas películas edíveis mostraram também ser eficientes na redução de desordens fisiológicas do armazenamento, nomeadamente no escaldão superficial em peras e acastanhamento da polpa em abacates (Gago et al., 2020; 2022; 2024).

4.10.3. Embalagens ativas

A embalagem ativa tem a função de preservar a qualidade do produto e prolongar o seu prazo de validade. Elas são denominadas como “ativas” porque existe uma interação entre a embalagem e o produto. Alguns exemplos de embalagens ativas são as embalagens antioxidantes, antimicrobianas e embalagens aromáticas, que contêm substâncias que retardam processos metabólicos como o amadurecimento, deterioração ou contaminação de produtos. Também podem ser incluídos filmes ou saquetas que contenham absorvedores ou emissores de determinados compostos com ação antimicrobiana ou oxidante e absorvedores de oxigénio ou etileno, por exemplo (Vilela et al., 2018).

Os sistemas de embalagem ativa estão entre as soluções mais avançadas para aumentar a vida útil de vários alimentos, sendo baseados em filmes de matriz de base incorporado com diferentes agentes antimicrobianos e antioxidantes, como os OEs, que são libertados gradualmente dentro da embalagem (Wyrwa e Barska, 2017). A utilização de embalagens ativas, consistindo em saquetas enriquecidas com OEs colocadas no interior de cuvetes *cramshell type* com morangos e framboesas, foram também eficientes na redução microbiana e melhoria da qualidade destes frutos sem afetarem as suas propriedades organoléticas (Rusková, et al., 2023; Casalini et al., 2023).

5. Considerações finais

O manuseamento pós-colheita é a etapa final do processo de produção de produtos hortícolas frescos, que por serem altamente perecíveis, necessitam de tratamento especializado. Ser capaz de manter o nível de frescura desde o campo até à mesa apresenta muitos desafios; os intervenientes na cadeia de produção

que possam atender a estes desafios, serão capazes de expandir as suas oportunidades de comercialização e ser mais capazes de competir no mercado.

A qualidade pós-colheita e a vida útil dos frutos frescos dependerão, em parte, das práticas de manuseamento e tratamentos realizados após a colheita. Embora a qualidade de qualquer fruto seja estabelecida à colheita, devido a boas práticas de produção, a sua manutenção e a extensão da vida útil depende de práticas de manuseamento e tratamentos pós-colheita adequados.

Dada a diversidade dos produtos hortícolas, até mesmo dentro dos frutos, as melhores práticas variam de produto para produto. Daí, ser de sobremaneira importante conhecer a fisiologia de cada um dos produtos específicos e pesquisar as tecnologias existentes que possam beneficiar o seu comportamento pós-colheita, para poder aplicá-las. O não cumprimento das melhores práticas resultará em grandes perdas de produto, comprometendo assim a sustentabilidade do planeta por um dispêndio adicional de recursos para a produção e um excesso de poluição pelos produtos deteriorados.

Apesar dos avanços já feitos na compreensão de fatores biológicos e ambientais que influenciam a deterioração dos frutos na pós-colheita, importa continuar pesquisando as bases fisiológicas e moleculares do amadurecimento e senescência dos frutos, assim como técnicas inovadoras que beneficiem a qualidade e vida útil dos mesmos, numa ótica de benefício para a saúde e o ambiente, que ajudará a reduzir as perdas pós-colheita e a melhorar a qualidade dos frutos frescos.

Algumas prioridades futuras da investigação no âmbito da fisiologia pós-colheita de frutas perecíveis estão relacionadas com a abordagem tradicional e mutantes, crescimento e desenvolvimento, biossíntese de etileno, recetores e transdução de sinal, amadurecimento climatérico e não climatérico, mudanças texturais, qualidade e sabor, desordens fisiológicas, técnicas de armazenamento e cultivares transgênicas.

6. Bibliografia

- Antunes, M.D.C. 2008. Colheita e conservação. In: M.D. Antunes (ed.). Kiwi: Da produção à comercialização. Edições Ciências da Terra, editado pela Universidade do Algarve. ISBN: 978-972-9341-71-7. pp. 192-203.
- Antunes, M.D.C. 2007. The role of ethylene in kiwifruit ripening and senescence. *Stewart Postharvest Review* 3(2):1-8.
- Antunes, M.D.C. & A.M. Cavaco 2010. The use of essential oils for postharvest decay control. *Flavour and Fragrance Journal* 25: 351-366.

- Antunes, M. D. C., I. Pateraki, A. K. Kanellis & E. M. Sfakiotakis. 2000. Differential effects of low temperature inhibition on the propylene induced autocatalysis of ethylene production, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 75 (5): 575-580.
- Antunes, M. D. C. & E. M. Sfakiotakis. 2002a. Chilling induced ethylene biosynthesis in 'Hayward' kiwifruit following storage. *Scientia Horticulturae* 92(1): 29-39.
- Antunes, M. D. C. & E. M. Sfakiotakis. 2002b. Ethylene biosynthesis and ripening behaviour of 'Hayward' kiwifruit subjected to some controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 26: 167-179.
- Backmann, J. & R. Earles. 2000. Postharvest handling of fruits and vegetables. Horticulture Technical Note. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). ATTRA is the National Sustainable Agriculture Information Center, USDA's Rural Business -- Cooperative Service. http://www.holodilshchik.ru/ATTRA_Postharvest_Handling_of_Fruits_and_Vegetables.pdf
- Acedido em: 20-01-2024.
- Barbosa-Cánovas, G.V., J.J. Fernández-Molina, S.M. Alzamora, M.S. Tapia, A. López-Malo & J.W. Chanes. 2003. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Technical Manual, FAO Agricultural Services Bulletin 149, Rome, 2003. ISBN 92-5-104861-4.
- Blankenship, S.M. & J.M. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1 – 25. doi:10.1016/S0925-5214(02)00246-6.
- Camelo, A.F.L. 2004. Manual for the preparation and sale of fruits and vegetables - From field to market. FAO AGRICULTURAL SERVICES BULLETIN 151, Rome. ISBN 92-5-104991-2. <https://www.fao.org/4/y4893e/y4893e00.htm#Contents> Acedido em 18-12-2023.
- Casalini, S., M.G. Baschetti, M. Cappelletti, A.C. Guerreiro, C.M. Gago, S. Nici & M.D. Antunes. 2023. Antimicrobial activity of different nanocellulose films embedded with thyme, cinnamon and oregano essential oils for active packaging application on raspberries. *Front. Sustain. Food Syst.* 7, 1190979: pp 1-15. doi: 10.3389/fsufs.2023.1190979
- Cheng, H., Chen, L., McClements, D. J., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., Miao, M., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 114, 70–82. Doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.017
- Cherian, S., C.R. Figueroa & H. Nair. 2014. 'Movers and shakers' in the regulation of fruit ripening: A cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. *Journal of Experimental Botany* 65 (17): 4705–4722. Doi: 10.1093/jxb/eru280

- Crisosto, C.H., D. Garner & G. Crisosto. 2002. High Carbon Dioxide Atmospheres Affect Stored 'Thompson Seedless' Table Grapes. *HortScience* 37(7): 1074–1078.
- De la Vega, J.C., M.A. Cañarejo, N.S. Pinto. 2017. Avances en Tecnología de Atmósferas Controladas y sus Aplicaciones en la Industria. Una Revisión. *Información Tecnológica*. 28 (3): 75-86. Doi: 10.4067/S0718-07642017000300009.
- Falagán, N. & L.A. Terry. 2018. Recent Advances in Controlled and Modified Atmosphere of Fresh Produce. *Johnson Matthey Technology Review* 62, (1): 107–117. Doi: 10.1595/205651318X696684.
- FAO, 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en> acessado em 23-11-2023.
- Figueroa, C.R., C.Z. Jiang, C.A. Torres, A.M. Fortes & N. Alka. 2021. Editorial: Regulation of Fruit Ripening and Senescence. *Frontiers in Plant Science* 12: 711458 doi: 10.3389/fpls.2021.711458
- Finger, L., T.D.C. Mendes C.F.M. França & F. C. Silva. 2023. Fisiologia do desenvolvimento dos frutos. In E.R. Rêgo, A.P.S. Ferreira, M.M. Rêgo, F.L. Finger (eds.). *Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças*, Editora UFPB, Universidade Federal da Paraíba, Brasil. e-book, Modo de acesso : <http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/>, ISBN: 978-65-5942-213-5. 451pp.
- Gago C.M., M.G. Miguel, A.M. Cavaco, D.P. Almeida & M.D. Antunes. 2015a. Combined effect of temperature and controlled atmosphere on storage and shelf-life of 'Rocha' pear treated with 1-methylcyclopropene. *Food Science and Technology International* 21(2): 94–103. doi: 10.1177/1082013213511808
- Gago, C.M.L., A.C. Guerreiro, G. Miguel, T. Panagopoulos, C. Sánchez & M.D.C. Antunes. 2015b. Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. *Postharvest Biology and Technology* 110: 77–85. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.018
- Gago, C.M.L., A.C. Guerreiro, G. Miguel, T. Panagopoulos, M.M. Silva & M.D.C. Antunes. 2016. Effect of Calcium chloride and 1-MCP (Smartfresh™) postharvest treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. *Scientia Horticulturae* 211: 440–448. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.017>
- Gago, C., A. Guerreiro, S. Cruz, N. Martins, M. J. Cabrita, M. G. Miguel, M. L. Faleiro & M. D. Antunes. 2022. 1-Methylcyclopropene and lemongrass essential oil nanocoatings effect on the preservation of cold stored 'Rocha' pear. *Postharvest Biology and Technology* 192: 1-10. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2022.111992.

- Gago C.M., M.G. Miguel, A.M. Cavaco, D.P. Almeida & M.D. Antunes. 2015a. Combined effect of temperature and controlled atmosphere on storage and shelf-life of 'Rocha' pear treated with 1-methylcyclopropene. *Food Science and Technology International* 21(2): 94–103. doi: 10.1177/1082013213511808
- Gago, C.M.L., A.C. Guerreiro, G. Miguel, T. Panagopoulos, C. Sánchez, & M.D.C. Antunes. 2015b. Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. *Postharvest Biology and Technology* 110: 77–85. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.018
- Gago, C.M.L., A.C. Guerreiro, G. Miguel, T. Panagopoulos, M.M. Silva & M.D.C. Antunes. 2016. Effect of Calcium chloride and 1-MCP (Smartfresh™) postharvest treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. *Scientia Horticulturae* 211: 440–448. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.09.017
- Gago, C., A. Guerreiro, M. Souza, N. Martins, D. Fonseca, M.J. Cabrita, M.G. Miguel, & M.D. Antunes. 2024. Effectiveness of Sodium Alginate and Carnauba Wax Nanoemulsions with Lemongrass Essential Oil on the quality of 'Hass' Avocado Fruit from early, middle, and late harvest season during prolonged cold storage. *Scientia Horticulturae* 333: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113237>
- Gago, C.M.L., M. Artiga-Artigas, M.D.C. Antunes, M.L. Faleiro, M.G. Miguel & O. Martín-Belloso. 2019. Effectiveness of nanoemulsions of clove and lemongrass essential oils and their major components against *Escherichia coli* and *Botrytis cinerea*. *Journal of Food Science and Technology* 56 (5): 2721–2736. Doi: 10.1007/s13197-019-03762-1
- Gago, C., R. Antão, C. Dores, A. Guerreiro, M. G. Miguel, M. L. Faleiro, A. C. Figueiredo & M. D. Antunes. 2020. The Effect of Nanocoatings Enriched with Essential Oils on 'Rocha' Pear Long Storage. *Foods* 9: 240: 1-15. Doi:10.3390/foods9020240
- Guerreiro, A.C, C.M.L. Gago, M.L. Faleiro, M.G.C. Miguel & M.D.C. Antunes. 2015a. The effect of alginate based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology* 100: 226-233. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.09.002
- Guerreiro, A.C, C.M.L. Gago, M.L. Faleiro, M.G.C. Miguel & M.D.C. Antunes. 2015b. The use of polysaccharides-based edible coatings enriched with essential oils to improved shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 110: 51-60. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.06.019

- Guerreiro, A.C, C.M.L. Gago, M.L. Faleiro, M.G.C. Miguel & M.D.C. Antunes. 2016a. Edible coatings enriched with essential oils for extending the shelf-life of 'Bravo de Esmolfe' fresh-cut apples. *International Journal of Food Science and Technology* 51: 87-95. Doi:10.1111/ijfs.12949
- Guerreiro, A.C, C.M.L. Gago, M.L. Faleiro, M.G.C. Miguel & M.D.C. Antunes. 2016b. The influence of edible coatings enriched with citral and eugenol on the raspberry storage ability, nutritional and sensory quality. *Food Packaging and Shelf Life* 9: 20–28. Doi: 10.1016/j.fpsl.2016.05.004
- Isidoro, N. & D.P.F. Almeida, 2006. α -Farnesene, conjugated trienols, and superficial scald in "Rocha" pear as affected by 1-methylcyclopropene and diphenylamine. *Postharvest Biology and Technology* 42: 49–56. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.05.003
- Jia, X-h, W-h Wang, Y-m Du, W. Tong, Z-h Wang & G. Hera. 2018. Optimal storage temperature and 1-MCP treatment combinations for different marketing times of Korla Xiang pears. *Journal of Integrative Agriculture* 17(3): 693–703. Doi: 10.1016/S2095-3119(17)61872-0
- Karoney, E.M., T. Molelekoa, M. Bill, N. Siyoum & L. Korsten. 2024. Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology* 208, 112642. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2023.112642
- Kou, X., Y. Feng, S. Yuan, X. Zhao, C. Wu, C. Wang & Z. Xue 2021. Different regulatory mechanisms of plant hormones in the ripening of climacteric and non-climacteric fruits: a review. *Plant Molecular Biology*. 107: 477–497. Doi: 10.1007/s11103-021-01199-9
- Kumar, V. A.; M. Hasan, S. Mangaraj, M. Pravitha, D.K. Verma & P.P. Srivastav. 2022. Trends in edible packaging films and its prospective future in food: a review. *Applied Food Research* 2 (1), 100118. Doi: 10.1016/j.afres.2022.100118
- Larrigaudière, C., R. Vilaplana, I. Recasens, Y. Soria & E. Dupille. 2010. Diffuse skin browning in 1-MCP-treated apples: etiology and systems of control. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2379–2385. Doi: 10.1002/jsfa.4094.
- Li, S., K. Chen & D. Grierson. 2019. A critical evaluation of the role of ethylene and MADS transcription factors in the network controlling fleshy fruit ripening. *New Phytologist* 221(4): 1724–1741. Doi: 10.1111/nph.15545
- Liu, Y., M. T., M. Liu, D. Su, J. Chen, Y. Gao, M. Bouzayen & Z. Li. 2020. The Molecular Regulation of Ethylene in Fruit Ripening. *Small Methods* 4, 1900485. Doi: 10.1002/smt.201900485.
- Matloob, A.H.A., M. Mohsin, S. Ambreen, F.A. Khan, S. Oranab, M.A. Rahim, W. Khalid, G.A. Nayik, S. Ramniwas, & S. Ercisli. 2023. A Review on Edible Coatings and Films: Advances, Composition,

Production Methods, and Safety Concerns. ACS Omega 8: 28932–28944. <http://pubs.acs.org/journal/acso>. Acedido a 10-12-223.

Palumbo, M., G. Attolico, V. Capozzi, R. Cozzolino, A. Corvino, M.L.V. Chiara, B. Pace, S. Pelosi, I. Ricci, R. Romaniello & M. Cefola. 2022. Emerging Postharvest Technologies to Enhance the Shelf-Life of Fruit and Vegetables: An Overview. *Foods* 2022 11(23), 3925. DOI: 10.3390/foods11233925.

Paul, V., R. Pandey & G.C. Srivastava. 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene - An overview. *Journal of Food Science and Technology* 49 (1): 1–21. Doi: 10.1007/s13197-011-0293-4

Pham, T.T., L.L.P. Nguyen, M.S. Dam & L. Baranyai. 2023. Application of Edible Coating in Extension of Fruit Shelf Life: Review. *AgriEngineering* 5(1): 520-536. Doi: 10.3390/agriengineering5010034

Rusková, M., A.O. Sišková, K. Mosnáčková, C. Gago, A. Guerreiro, M. Bučková, A. Puškárová, D. Pangallo & M.D. Antunes. 2023. Biodegradable active packaging enriched with essential oils for enhancing the shelf life of strawberry. *Antioxidants* 12, 755: pp.1-16. Doi: 10.3390/antiox12030755

Singla, R., B. Kaur & R. Goel. 2022. Controlled atmosphere and modified atmosphere storage for horticulture commodities: A review. *The Pharma Innovation Journal* SP-11(9): 1581-1589. ISSN (E): 2277-7695, ISSN (P): 2349-8242: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue9S/PartT/S-11-9-18-672.pdf> Acedido em: 16-01-2024.

Stavroulakis, G. & E. M. Sfakiotakis. 1993. Regulation by temperature of the propylene induced ethylenebiosynthesis and ripening in “Hayward” kiwifruit. in J. C. Pech et al. (eds.), *Cellular and Molecular Aspects of the Plant Hormone Ethylene*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 142–143. ISBN: 0792321693.

Thompson, A.K., R.K. Prange, R. D. Bancroft & T. Puttongsiri. 2018. *Controlled Atmosphere Storage of Fruit and Vegetables*, 3th edition, R.D. Bancroft (Ed.). CABI, Oxforshire, UK, ISBN: 9781786393739, 1786393735.

Vilela, C., M. Kurek, Z. Hayouka, B. Röcker, S. Yildirim, M.D.C. Antunes, J. Nilsen-Nygaard, M.K. Pettersen & C.S.R. Freire. 2018. A concise guide to active agents for active Food packaging. *Trends in Food Science & Technology* 80: 212–222. Doi: 10.1016/j.tifs.2018.08.006

Yadav, A., M.K. Tripathi & R.S. Jadam. 2021. Edible Coating from Food Processing By-Products for Packaging of Fruits and Vegetables. *Octa Journal of Biosciences International* 9(2): 91-98. ISSN: 2321-3663.

Yahia, E.M., A. Gardea-Béjar, J.J. Ornelas-Paz, I.O. Maya-Meraz, M.J. Rodríguez-Roque, C. Rios-Velasco, J. Ornelas-Paz & M.A. Salas-Marina. 2019. Preharvest Factors Affecting Postharvest Quality. In E.M. Yahia (ed.), *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Elsevier Inc. All,

Woodhead Publishing, The Netherlands, pp. 99-128. ISBN: 978-0-12-813276-0. Doi: 10.1016/C2016-0-04890-8

Watkins, C.B. 2008. Overview of 1-Methylcyclopropene Trials and Uses for Edible Horticultural Crops. *HortScience* 43(1): 86-94. Doi: 10.21273/HORTSCI.43.1.86

Wyrwa, J. & A. Barska. 2017. Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology* 243: 1681–1692. Doi: 10.1007/s00217-017-2878-2