UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

FELIPE REZENDE DE MOURA RIBEIRO

CONSERVAÇÃO DOS FRUTOS DE LARANJA 'WESTIN' SOB ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E APLICAÇÃO DE L-FENILALANINA

Botucatu

2025

FELIPE REZENDE DE MOURA RIBEIRO

CONSERVAÇÃO DOS FRUTOS DE LARANJA ‘WESTIN’ SOB ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E APLICAÇÃO DE L-FENILALANINA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia/Horticultura.

Orientadora: Prof.ª Dra. Sarita Leonel

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo de Souza Silva

Botucatu

2025

R484c

Ribeiro, Felipe Rezende de Moura
Conservação dos frutos de Laranja 'Westin' sob armazenamento refrigerado e aplicação de L-Fenilalanina / Felipe Rezende de Moura Ribeiro. -- , 2025
58 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu,
Orientadora: Sarita Leonel
Coorientadora: Marcelo de Souza Silva

1. Citrus sinensis (L.) Osbeck. 2. ácido ascórbico. 3. perda de massa. 4. sólidos solúveis. 5. colorimetria. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONSERVAÇÃO DOS FRUTOS DE LARANJA 'WESTIN' SOB ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E APLICAÇÃO DE L-FENILALANINA

AUTOR: FELIPE REZENDE DE MOURA RIBEIRO
ORIENTADORA: SARITA LEONEL
COORIENTADOR: MARCELO DE SOUZA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª SARITA LEONEL (Participaçao Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas - Unesp Botucatu

Prof. Dr. JACKSON MIRELLYS AZEVÊDO SOUZA (Participaçao Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Viçosa

Professor Doutor JOÃO DOMINGOS RODRIGUES (Participaçao Presencial)
Biodiversidade e Bioestatistica / Instituto de Biociências de Botucatu - Unesp

Botucatu, 23 de julho de 2025

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, por todas as graças recebidas e todas as coisas boas que Ele colocou, coloca e colocará em minha trajetória.

À UNESP por fornecer um ambiente fértil para o aprendizado, com um corpo docente qualificado e estrutura apropriada.

À Professora Dra. Sarita Leonel, minha Orientadora, pelos ensinamentos transmitidos, confiança depositada, auxílio e amizade.

Ao Professor Dr. Marcelo de Souza Silva, meu Co-orientador, o qual certamente exerceu papel fundamental para o bom desenvolvimento deste trabalho.

Ao Grupo AlfaCitrus por ceder os frutos de laranja para esta pesquisa.

Aos demais graduandos, mestrandos, doutorandos e docentes do Departamento de Produção Vegetal, motoristas do Setor de Transporte e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas, pelo companheirismo e por todas as contribuições nesta jornada.

À minha mãe, Marina Lúcia Rezende de Moura Ribeiro e ao meu pai Felicio de Moura Ribeiro por todas as transmissões de valores essenciais, como a humildade, honestidade, liberdade e caridade, além de fornecerem bons conselhos e ensinamentos, os quais me balizam a tentar ser uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus avós maternos, Sebastiana Ferreira Rezende e João Reis Rezende (*i.m.*), por me ensinarem a bondade, bem como a simplicidade da vida, apreciando com minúcia e tranquilidade as coisas do cotidiano, principalmente no ambiente rural.

Aos meus avós paternos, Eliete de Moura Ribeiro e Felicio Meirelles Ribeiro, por todo o conhecimento, carinho, auxílio e ensinamentos, os quais foram cruciais e permitiram que eu chegasse até aqui, com a certeza que posso ir muito mais além!

A todos que não foram citados, mas que de forma direta ou indireta, contribuíram para a minha vivência pessoal e realização deste trabalho, meu muito obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Uma árvore boa não produz frutos ruins, e uma árvore ruim não produz frutos bons”.

BÍBLIA. Português. Bíblia Sagrada. Edição ecumênica. Rio de Janeiro: Encyclopaedia Britannica, 1995. Lucas 6:43.

RESUMO

As perdas pós-colheita representam desafio significativo para o setor citrícola brasileiro, exigindo estratégias eficazes que prolonguem a vida útil e preservem as características físico-químicas dos frutos. A aplicação exógena de L-fenilalanina (Phe), tem sido explorada por seu potencial em estimular vias metabólicas relacionadas a qualidade e defesa vegetal, apresentando menores custos quando comparada a outros métodos de conservação. Objetivou-se com este trabalho avaliar parâmetros de qualidade de laranjas 'Westin' submetidas a diferentes concentrações de Phe e períodos de conservação refrigerado na pós-colheita. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em parcela subdividida no tempo, com quatro concentrações de Phe (0, 3, 6 e 9 mM) e cinco períodos de avaliação (0, 10, 20, 30 e 40 dias), com quatro repetições e dez frutos por subparcela experimental. Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram armazenados sob refrigeração (3°C±1º/ 85% UR). Foram avaliadas 18 variáveis: Massa do fruto (MF), Massa do suco (MS), Rendimento do suco (RS), perda de massa do fruto (PM), cromaticidade (C), luminosidade (L), ângulo HUE (ºh), firmeza dos frutos (FF), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de maturação (IM), ácido ascórbico (AA), índice tecnológico (IT), teores de açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR), açúcares totais (ATT), polifenóis totais (PFT) e carotenoides totais (CT). Ao longo do período de armazenamento não houve incidência de doenças pós-colheita nos tratamentos avaliados. A aplicação de Phe aumentou linearmente a perda de massa dos frutos, com consequente redução linear da firmeza, porém propiciou incrementos nos indicadores de coloração dos frutos, fornecendo cascas menos escuras, com tonalidade mais amarelada e saturada. No entanto, os compostos bioativos, como carotenoides e polifenóis totais, tendem a diminuir ao longo do armazenamento, indicando que a suplementação com Phe pode não ser suficiente para preservar estes compostos em períodos prolongados. O tratamento com 3 mM de Phe destacou-se por não causar aumento excessivo na perda de massa ou redução drástica da firmeza, além de proporcionar uniformidade nos padrões colorimétricos, apresentando-se como uma dose equilibrada entre manutenção da qualidade física e visual. Assim, recomenda-se a aplicação de 3 mM de Phe como a melhor dose para conservação de laranjas 'Westin' em armazenamento refrigerado, comercializando-os entre 15 e 20 dias.

Palavras-chave: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck; ácido ascórbico; perda de massa; sólidos solúveis; colorimetria.

ABSTRACT

Postharvest losses represent a significant challenge for the Brazilian citrus industry, requiring effective strategies to extend shelf life and preserve the physicochemical characteristics of the fruits. The exogenous application of L-phenylalanine (Phe) has been explored for its potential to stimulate metabolic pathways related to plant quality and defense, presenting lower costs when compared to other preservation methods. This study aimed to evaluate the quality parameters of 'Westin' oranges subjected to different Phe concentrations and refrigerated storage periods during the postharvest phase. A completely randomized design was used, in plots subdivided over time, with four concentrations of Phe (0, 3, 6, and 9 mM) and five evaluation periods (0, 10, 20, 30, and 40 days), with four replicates and ten fruits per experimental subplot. After treatment application, the fruits were stored under refrigeration (3°C ± 1°C / 85% RH). A total of 18 variables were assessed: fruit weight (FW), juice weight (JW), juice yield (JY), fruit weight loss (WL), chroma (C), lightness (L), hue angle (ºh), fruit firmness (FF), soluble solids (SS), titratable acidity (TA), ripening index (RI), ascorbic acid (AA), technological index (TI), reducing sugars (RS), non-reducing sugars (NRS), total sugars (TS), total phenolic compounds (TPC), and total carotenoids (TC). Throughout the storage period, no incidence of postharvest diseases was observed in any of the treatments. Phe application promoted a linear increase in fruit weight loss, consequently leading to a linear reduction in firmness. However, improvements were observed in fruit color attributes, resulting in peels with lighter, more saturated, and exhibited more pronounced yellowish tones. Nonetheless, bioactive compounds such as carotenoids and total phenolics tended to decrease over storage time, indicating that Phe supplementation alone may not be sufficient to preserve these compounds during prolonged storage. The 3 mM Phe treatment stood out for not causing excessive weight loss or a drastic reduction in firmness, while promoting uniformity in colorimetric parameters, representing a balanced dose for maintaining both physical and visual fruit quality. Therefore, it is recommended to apply 3 mM of Phe as the best dose for preserving 'Westin' oranges in cold storage, marketing them between 15 and 20 days.

Keywords: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck; ascorbic acid; weight loss; soluble solids; colorimetry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo ilustrativo da condução do experimento 29

Figura 2 - Perda de massa em frutos de laranja ‘Westin’, sob diferentes concentrações de Phe ao longo do período de armazenamento refrigerado 34

Figura 3 - Luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo HUE (C) em frutos de laranja ‘Westin’, sob diferentes concentrações de Phe 36

Figura 4 - Laranjas 'Westin' e sua relação com o período de armazenamento (PA) e concentrações de Phe. 36

Figura 5 - Massa do fruto (A), massa do suco (B), rendimento de suco (C), firmeza do fruto (D), luminosidade (E), cromaticidade (F) e ângulo HUE (G) em frutos de laranja ‘Westin’ ao longo de períodos de armazenamento refrigerado 39

Figura 6 - Sólidos solúveis (A), acidez titulável (B), índice de maturação (C), ácido ascórbico (D) e açúcares redutores (E) em frutos de laranja ‘Westin’, sob diferentes concentrações de Phe ao longo de períodos de armazenamento refrigerado 43

Figura 7 - Açúcares totais em frutos de laranja ‘Westin’, sob diferentes concentrações de Phe 44

Figura 8 - Açúcares não redutores (A), carotenoides (B), polifenóis totais (C) e índice tecnológico (D) em frutos de laranja ‘Westin’ ao longo de períodos de armazenamento refrigerado 45

Figura 9 - Análise de componentes principais (A) e dendrograma de cluster (B) das variáveis, tratamentos e período de armazenamento dos frutos de laranja ‘Westin’ 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variância das variáveis físicas: Massa do fruto (MF); perda de massa (PM); massa do suco (MS); rendimento de suco (RS); firmeza do fruto (FF); luminosidade (L); cromaticidade (C) e ângulo HUE (ºh) em frutos de laranja 'Westin' submetidos a diferentes concentrações de L-fenilalanina (Phe) e períodos de armazenamento em temperatura refrigerada (3°C±1º/ 85% UR) 29

Tabela 2 - Análise de variância das variáveis físico-químicas e bioquímicas: Sólidos solúveis (SS); acidez titulável (AT); índice de maturação (IM); índice tecnológico (IT); ácido ascórbico (AA); açúcares totais (ATT); açúcares redutores (AR); açúcares não redutores (ANR); carotenoides totais (CT) e polifenóis totais (PFT) em frutos de laranja 'Westin' submetidos a diferentes concentrações de L-fenilalanina (Phe) e períodos de armazenamento em temperatura refrigerada (3°C±1º/ 85% UR).....40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO DE LITERATURA 21
2.1 Colheita e pós-colheita de frutos cítricos 21
2.2 Perdas pós-colheita de frutos cítricos 23
2.3 Caracterização da laranja 'Westin' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] 24
2.4 L-Fenilalanina na pós-colheita 25
3 MATERIAL E MÉTODOS 28
3.1 Caracterização da área experimental 28
3.2 Instalação e condução do experimento 28
3.3 Delineamento experimental 28
3.4 Avaliações físicas e químicas 29
3.5 Incidência de podridões 31
3.6 Análise estatística 32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
5 CONCLUSÕES 48
REFERÊNCIAS 49

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja (33,79%) e de suco de laranja (73,83%), consolidando-se como líder global da cadeia citrícola (USDA., 2025; WCO., 2025). Aproximadamente 73% da produção nacional é destinada ao processamento industrial, enquanto o restante atende ao mercado do consumo *in natura* (Vidal, 2024).

A demanda atual por frutas cítricas incluem atributos sensoriais e nutricionais superiores, além de características estéticas, que influenciam diretamente a decisão de compra do consumidor (Blasco *et al*., 2009; Sdiri *et al*., 2012), sendo reconhecidas como componente importante da dieta humana, fornecendo benefícios quando consumidas diariamente (Lv *et al*., 2015). De todas as espécies cítricas cultivadas no mundo, a laranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] é a mais importante, sendo caracterizada pelo sabor doce, agradável e aroma fino muito apreciado pelos consumidores (Roussos, 2016).

A cultivar Westin [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck], laranja de ciclo precoce, é amplamente cultivada no Estado de São Paulo, com 5.813 hectares de pomares plantados (Fundecitrus., 2024). Registrada no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sob o número 02140 (MAPA., 2025), apresentando frutos de alto valor comercial, com peso médio de 145g, casca fina e elevado rendimento de suco, no entanto, a persistência dos frutos na planta após maturação é limitada (Oliveira *et al*., 2016).

Os frutos cítricos não amadurecem após colhidos, podendo sofrer deteriorações durante o período pós-colheita, como o amolecimento pela perda de umidade a incidência de doenças (Berk, 2016a; Ejaz *et al*., 2022). Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, as perdas pós-colheita de frutos cítricos variam de 25% a 30% (Ladaniya, 2022a), ao passo que os fungos são responsáveis por perdas entre 25% a 50% dos frutos cítricos no período pós-colheita (Nunes, 2015; Zhang *et al*., 2017; Solanki *et al*., 2024).

Os patógenos fúngicos, em especial, o bolor verde [*Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc.] são as principais causa de perdas em frutos frescos (Spadaro; Droby, 2016; Benato *et al*., 2018), sendo disseminados por esporos que contaminam campos, instalações e transportes. Após a infecção com a entrada do microrganismo no tecido vegetal, os sintomas se iniciam com mancha mole e exsudação, evoluindo para micélio branco e esporos verde-oliva (Benato *et al*., 2018).

A dificuldade no controle desta doença reside na capacidade dos propágulos do fungo permanecerem quiescentes nos frutos sadios, emergindo progressivamente na pós-colheita (Terao *et al.*, 2020), sendo controlados predominantemente com fungicidas sintéticos, cuja utilização vem sendo questionada pelos mercados consumidores, porém, novas alternativas mais seguras e eficazes vêm sendo desenvolvidas globalmente (Spadaro; Droby, 2016; Bhatta, 2022; Ladaniya, 2022b).

A manutenção das características e padrões ideias como a coloração uniforme, firmeza e ausência de defeitos durante o armazenamento pós-colheita representam um desafio considerável (Ritenour, 2016). O revestimento dos frutos com cera de carnaúba é o método mais usual, protegendo os frutos contra danos, melhorando o aspecto visual, ampliando sua durabilidade, intensificando o brilho da casca e minimizando desperdícios pós-colheita, sem comprometer a qualidade sensorial das frutas, podendo conter fungicidas misturados em sua composição (Malgarim; Cantillano; Treptow, 2007; Ladaniya, 2022b; Babarabie *et al*., 2024). Apesar dos benefícios, os revestimentos à base de cera de carnaúba apresentam cristalização termicamente complexa. Isso exige estruturas de aplicação e controle térmico adequados (Müller *et al*., 2018), o que dificulta seu uso para pequenos produtores que não possuem tecnificação neste processo.

Métodos alternativos, como a indução de resistência por elicitores, para o controle de doenças pós-colheita vêm ganhando espaço no mercado, visando consolidar uma agricultura mais sustentável, com custos mais baixos e segura para o consumidor (Zhou; Wang, 2018; Caicedo-López *et al*., 2021). Neste contexto, enquadra-se a L-Fenilalanina (Phe), aminoácido essencial também considerada como elicitor da resposta de defesa do fruto, a qual, em pequenas concentrações, pode ativar mecanismos envolvidos no metabolismo secundário (Moreno-Escamilla et al., 2018). A L-Fenilalanina (Phe) é um substrato da enzima PAL, enzima chave na rota dos fenilpropanoides, os quais estão envolvidos com a resistência a pragas e patógenos, produzindo diversos compostos, como o Ácido Salicílico, lignina, flavonoides, taninos e fitoalexinas (Pinto; Ribeiro; Oliveira, 2011; Mierziak; Kostyn; Kulma, 2014; Guest, 2017; Tripathi; Raikhy; Kumar, 2019; Iqbal; Poór, 2025).

Este aminoácido mostrou eficácia no controle de doenças fúngicas em abacate, manga e tangerinas (Kumar Patel *et al*., 2020; Saidi *et al*., 2021). Contudo, seus efeitos em indicadores físico-químicos de laranjas, especialmente na cultivar 'Westin', ainda são pouco explorados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Colheita e pós-colheita de frutos cítricos

Embora cerca de 73% da fruta produzida em território nacional tenha como destino o processamento industrial (Vidal, 2024), parte considerável é destinada ao mercado da fruta para consumo *in natura*. No cenário atual, os consumidores exigem cada vez mais frutos com qualidades nutricionais e sensoriais elevados, servindo como fonte de fibras, vitaminas e minerais, além do efeito significativo da aparência, sabor, aroma e textura, sendo influenciados assim, pela estética dos frutos cítricos em suas decisões de compra (Lago *et al*., 2018; Knopp; Soares, 2024).

Os frutos são classificados pelo processo de amadurecimento, divididos entre frutos climatéricos e não climatéricos. No caso dos frutos cítricos, os quais não amadurecem após a colheita, são denominados como não climatéricos (Baldwin, 2016; Senar, 2017), apresentando baixas taxas respiratórias, com valores entre 5 a 10 mg CO_2 kg^{-1} h^{-1} na faixa de 5ºC e baixas taxas de evolução do etileno durante o estádio de amadurecimento (Li *et al*., 2008; Saltveit, 2016). Ou seja, a qualidade dos frutos não melhora após a colheita, sejam frutos não-climatéricos ou climatéricos. Após a colheita, ocorrem apenas transformações bioquímicas que levam ao amadurecimento ou à senescência. Assim, as técnicas pós-colheita visam conservar a qualidade existente, nunca melhorá-la (Baldwin, 2016; GCCA, 2024).

Durante a maturação dos frutos ocorrem transformações bioquímicas como o acúmulo de açúcares, redução da acidez e degradação de clorofila e transformações físicas como a síntese de pigmentos e amolecimento da polpa, caracterizando a complexidade fisiológica do processo, o qual é influenciado pela temperatura, umidade e danos mecânicos, podendo ter sua velocidade reduzida por técnicas de armazenamento refrigerado e atmosfera controlada, ampliando a vida útil dos frutos (Anese; Fronza, 2015).

Deve-se atentar ao fato de que as qualidades individuais dos frutos destinados para o mercado *in natura* são percebidas pelo consumidor, diferindo do processamento industrial, onde laranjas fora do padrão podem, por ventura, serem utilizadas sem afetar a qualidade final do produto (Nascimento; Bender, 2018). No ato da compra o consumidor prioriza a coloração da casca, seguida pela firmeza do fruto e o preço (Pacheco *et al*., 2013). Por isso é importante que a colheita seja realizada quando os frutos já estiverem em excelentes condições de consumo, devendo ser

evitados os extremos do ciclo produtivo (GCCA, 2024). Para frutos de mesa, além de outras caracterísicas, recomenda-se laranjas com no mínimo 10,0ºBrix e 9,5 de *ratio* (SS/AT) (Siqueira; Salomão, 2017).

O processo de colheita deve ser realizado no momento certo, pois é uma das operações mais importantes da cadeia produtiva, sendo este, o momento em que a qualidade do fruto é definida. Caso realizada no momento errado, reduzirá o rendimento, com frutos de baixa qualidade (Hussain *et al*., 2022). É recomendado que a colheita seja realizada nas horas mais frescas do dia, a fim de evitar a exposição excessiva dos frutos ao sol e ao calor, além da necessidade da adoção de técnicas de manejo que minimizem danos mecânicos, somados com a higienização de equipamentos de colheita (Anese; Fronza, 2015).

Como os frutos de uma mesma planta podem estar em estádios distintos de maturação, a colheita deve ser seletiva, onde apenas os maduros são retirados, deixando os demais na planta até atingirem o ponto de consumo (Nascimento; Bender, 2018). No ato da colheita ocorre o rompimento da ligação da árvore com o fruto, com este apresentando pouca alteração interna devido ao baixo teor de reserva de amido. Após esta separação, perdas fisiológicas se fazem presentes e os frutos podem sofrer alterações em seus atributos, variando conforme os tratamentos recebidos (Siqueira; Salomão, 2017).

A seleção criteriosa de frutas para armazenamento comercial requer, além de uma colheita e manuseio cuidadosos, a eliminação de frutos moles, excessivamente maduros, danificados mecanicamente ou com talos longos e pontiagudos, os quais podem perfurar outros frutos, gerando pontos de deterioração por podridão (GCCA, 2024). Em geral, a vida útil correlaciona-se inversamente com a taxa respiratória, já que esta fornece compostos que determinam a taxa de processos metabólicos e fatores de qualidade (Saltveit, 2016). Embora a qualidade dos frutos não possam ser melhoradas após a colheita, tratamentos pós-colheita adequados mantêm seus atributos e reduzem a deterioração (Khan *et al*., 2022a).

A refrigeração é o principal método de conservação de frutos frescos, permitindo que cheguem aos consumidores com a melhor qualidade possível, visto que reduzem a respiração e a transpiração, retardando a senescência e inibindo a proliferação de microrganismos, com valores recomendados de temperatura para laranja variando entre 2°C e 9°C (Senar, 2017; Nascimento; Bender, 2018; Semco, 2025). Em condições ambientais ideais, a manutenção dos frutos cítricos na árvore

supera a refrigeração. Frutos com potencial de armazenamento esgotado pela permanência excessiva na planta não devem ser submetidos ao armazenamento refrigerado (Ritenour, 2016).

2.2 Perdas pós-colheita de frutos cítricos

Os frutos cítricos não amadurecem após colhidos, podendo sofrer deteriorações durante o período pós-colheita, como o amolecimento pela perda de umidade e a incidência de doenças (Berk, 2016a; Ejaz *et al*., 2022), sendo os patógenos fúngicos, em especial, o bolor verde [*Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc.] a principal causa de perdas em frutos frescos (Spadaro; Droby, 2016; Benato *et al*., 2018). Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, as perdas pós-colheita de frutos cítricos variam de 25% a 30% (Ladaniya, 2022a), ao passo que os fungos são responsáveis por perdas entre 25% a 50% dos frutos cítricos no período pós-colheita (Nunes, 2015; Zhang *et al*., 2017; Solanki *et al*., 2024).

O bolor verde [*Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc.] dissemina esporos que contaminam campos, instalações e transportes. Após a infecção com a entrada do microrganismo no tecido vegetal, os sintomas se iniciam com mancha mole e exsudação, evoluindo para micélio branco e esporos verde-oliva (Benato *et al*., 2018). A dificuldade no controle desta doença reside na capacidade dos propágulos do fungo em permanecerem quiescente nos frutos sadios, emergindo progressivamente na pós-colheita (Terao *et al*., 2020). Em estudo realizado na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais do Estado de São Paulo - CEAGESP/SP, a incidência do bolor verde em laranja 'Lima' e tangor 'Murcott' variou de 5,6% a 14,6%, superando valores das demais doenças nos frutos cítricos (Fischer; Lourenço; Amorim, 2008).

O método de controle mais utilizado para o controle das doenças pós-colheita em frutos é pelo uso de fungicidas sintéticos, como o thiabendazol, procloraz, imazalil, fludioxonil e pirimetanil (Spadaro; Droby, 2016; Chen et al., 2019; Terao *et al*., 2020). A combinação entre as preocupações dos consumidores com resíduos de fungicidas, riscos de seleção de patógenos resistentes, impacto ambiental e restrições legislativas tem impulsionado a busca por estratégias de controle pós-colheita mais eficientes, seguras e ecologicamente corretas (Spadaro; Droby, 2016; Wisniewski *et al*., 2016; Terao *et al*., 2020; Ladaniya, 2022b).

Diversos fatores pré-colheita exercem forte influência na qualidade e no potencial de armazenamento dos frutos cítricos, determinando sua vida útil, como doenças, pragas, nutrição, irrigação, clima, escolha de porta-enxertos, densidade de cultivo e aplicação de reguladores vegetais, podendo causar danos que comprometem a aparência final dos frutos (Khan *et al*., 2022b; Ladaniya, 2022c). O manejo inadequado pós-colheita, por sua vez, eleva consideravelmente as taxas de não aceitação pelo consumidor, acarretando perdas econômicas significativas (Khan *et al*., 2022b). Como causas de perdas alimentares destacam-se as infestações de pragas, técnicas inadequadas de colheita, falta de mão de obra qualificada para o manuseio, más condições de embalagem e transporte, além do excesso de estoque disponível em um curto espaço de tempo (Nunes, 2015; FAO, 2022).

2.3 Caracterização da laranja ‘Westin’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]

A laranja ‘Westin’ é uma cultivar do grupo Comum [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck.] com origem no Estado do Rio Grande do Sul, onde foi inicialmente conhecida como ‘Clementina’. Posteriormente, ao ser introduzida no Estado de São Paulo, foi renomeada para 'Westin', tornando-se amplamente cultivada nesta região, além de partes da Argentina (Oliveira *et al*., 2016). A cultivar é registrada no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) sob o número 02140 (MAPA., 2025).

As plantas de ‘Westin’ são vigorosas, com folhas grandes, elípticas e de coloração verde escura; flores completas; frutos arredondados (130 a 160 g); casca fina (3-4 mm), ligeiramente rugosa e de coloração laranja-intensa quando cultivada em condições de clima temperado (Oliveira *et al*., 2016). A polpa também apresenta coloração laranja-intensa semelhante a ‘Valência’; com alto rendimento de suco (50%-56%), alto conteúdo de açúcares (11-13ºBrix) e média acidez (0,9-1,0%); presença de poucas sementes por fruto (2-3), com produtividade variando de 30 a 45 toneladas por hectare, com persistência limitada dos frutos na planta após a maturação (Passos *et al*., 2009; Oliveira *et al*., 2016; Schwarz; Souza; Oliveira, 2018).

Em pesquisa com a laranja ‘Westin’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] sobre cinco diferentes porta-enxertos com dezoito anos de idade, Salcedo Cedeno (1984), verificou que o limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) influenciou positivamente na precocidade de produção, ao passo que outros porta-enxertos apresentaram efeitos

adversos, retardando a produção, aumentando o vigor das copas e também a produção.

Para as condições do Estado do Rio Grande do Sul, a maturação dos frutos é de meia-estação, com a colheita realizada entre maio e agosto, com pequenas variações. Após colhidos, pode-se conservar os frutos sob refrigeração por cerca de um mês (Oliveira *et al*., 2014). Os frutos apresentam alto valor comercial, tanto para consumo *in natura* quanto para produção de suco. Para as condições de cultivo no Estado de São Paulo, a 'Westin' é classificada como de maturação precoce, com sua colheita realizada entre abril e junho. Possui peso médio de 145g por fruto e 5.813 hectares plantados, segundo dados do Inventário de Árvores de 2024 (Fundecitrus., 2024).

2.4 L-fenilalanina na pós-colheita

Atualmente, o revestimento dos frutos com cera de carnaúba é o método mais utilizado nos packing-houses, protegendo os frutos contra danos, melhorando o aspecto visual, ampliando sua durabilidade, intensificando o brilho da casca e minimizando desperdícios pós-colheita, sem comprometer a qualidade sensorial das frutas, podendo conter fungicidas misturados em sua composição (Malgarim; Cantillano; Treptow, 2007; Ladaniya, 2022b; Babarabie *et al*., 2024). Apesar dos benefícios, os revestimentos à base de cera de carnaúba apresentam cristalização termicamente complexa. Isso exige estruturas de aplicação e controle térmico adequados (Müller *et al*., 2018). Neste contexto, faz-se necessária a busca por métodos alternativos que forneçam proteção aos frutos na pós-colheita e que sejam economicamente viáveis, como é o caso da L-fenilalanina (Phe), a qual possui um custo relativamente baixo e alta eficácia (Kumar Patel *et al*., 2020).

A L-fenilalanina (Phe) é um aminoácido aromático essencial, produto final da via do Chiquimato, principal rota metabólica para síntese de aminoácidos aromáticos. Nas plantas, a Phe serve como precursora para diversos metabólitos secundários, particularmente os fenilpropanoides, cuja biossíntese é iniciada pela enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) (Litwack, 2018; Warpeha, 2024), enzima que catalisa a desaminação da Phe para formar ácido cinâmico. Este composto sofre subsequente hidroxilação e ativação para gerar p-cumaroil-CoA, metabólito chave que atua como precursor central para a diversificação dos compostos fenólicos (Mamari, 2021). Em

espécies cítricas, a PAL desempenha papel crucial na resistência aos estresses bióticos e abióticos, embora seus mecanismos exatos de ação ainda não estejam completamente elucidados (Wang; Wang; Ning, 2019; Yin *et al*., 2024).

Os fenilpropanoides formam o maior grupo de metabólitos secundários em plantas, produzidos principalmente sob estresse. Eles atuam como agentes protetores graças às suas propriedades antioxidantes e eliminadoras de radicais livres, à formação de barreiras físicas contra patógenos e à síntese de compostos antimicrobianos. Além disso, sinalizam para o aumento da resistência da planta, sendo mediadores essenciais da defesa contra pragas (VanEtten *et al*., 1994; La Camera *et al*., 2004; Korkina, 2007). Contudo, o ganho em resistência às doenças pode diminuir a produtividade agrícola devido à energia requerida para sintetizar compostos de defesa (Ning; Liu; Wang, 2017).

O uso de agroquímicos na fruticultura geralmente representa fonte de poluição ambiental e riscos à saúde. Por isso, alternativas como a indução de resistência por elicitores para o controle de doenças pós-colheita vêm ganhando espaço no mercado, visando consolidar uma agricultura mais sustentável, com custos mais baixos e segura para o consumidor (Zhou; Wang, 2018; Caicedo-López *et al*., 2021). A Phe é considerada um elicitor da resposta de defesa do fruto (Saidi *et al*., 2021), visto que, elicitor é definido como o composto que, em pequenas concentrações, pode ativar diferentes respostas de defesa nas plantas, ativando mecanismos como as enzimas envolvidas no metabolismo secundário (Moreno-Escamilla *et al*., 2018).

Em relação aos aspectos regulatórios e de segurança, a Phe é um aditivo alimentar permitido para adição direta aos alimentos para consumo humano, desde que respeitada a quantidade pré-estabelecida da substância adicionada ao alimento (ECFR, 2025). É caracterizada fisicamente como um pó cristalino branco, inodoro, sabor levemente amargo e pH (solução aquosa a 1%) 5,4 a 6,0 com fórmula química $C_9H_{11}NO_2$ e não atende aos critérios de risco do *Globally Harmonized System* (GHS) (NTP, 1992; PubChem, 2025), sendo considerado um produto seguro.

Pesquisadores vem estudando os efeitos da Phe e de seus metabólitos no processo de pós-colheita em frutos, principalmente no tocante ao controle de patógenos. Segundo pesquisa feita por Saidi *et al.,* (2021) em Israel, revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos associados com Phe e aplicados em abacate (*Persea americana)* cv. Ettinger e cv. Fuerte reduziram significativamente a deterioração natural da fruta causada pelos patógenos fúngicos, *Colletotrichum*

sp. e *Alternaria sp.*, demonstrando também maior resistência ao armazenamento em temperatura abaixo do ideal, menor deterioração e escurecimento interno, além de melhorar os parâmetros fisiológicos e o sabor do fruto.

Aplicações pós-colheita de concentrações de Phe reduziram significativamente doenças fúngicas em frutos de mangas (*Mangifera indica*) 'Shelly' e abacates (*Persea americana)* 'Fuerte' (8 mM), controlando antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e podridão do pedúnculo (*Lasiodiplodia theobromae*). Em tangerinas (*Citrus reticulata*) 'Orr' e 'Michal' (6 mM), suprimiram o mofo verde (*Penicillium digitatum*), preservando a firmeza, sólidos solúveis e acidez. Os autores concluíram que a Phe aplicada pré ou pós-colheita inibe patógenos fúngicos, representando uma alternativa ecológica e segura aos fungicidas (Kumar Patel *et al*., 2020).

A aplicação combinada de Phe (1 g L^{-1}) e desidroacetato de sódio (3,2 g L^{-1}) em tangerinas 'Miyagawa Wase' (*Citrus unshiu*), por imersão de 5 minutos antes do armazenamento refrigerado, reduziu em 46,67% o mofo verde (*Penicillium digitatum*) – resultado equivalente ao fungicida imazalil. Como elicitor natural, a Phe preservou a qualidade dos frutos com 30% menos de perda de peso, manutenção da firmeza, acidez titulável e vitamina C, além de ativar defesas antioxidantes e a via fenilpropanoide para acumulação de compostos antimicrobianos. O tratamento controlou 85% do mofo verde e 91% da podridão natural após 30 dias, posicionando-se como alternativa sustentável aos fungicidas químicos (Liu *et al.*, 2025).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Os frutos foram colhidos em um pomar de laranjeira ‘Westin’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com 15 anos de idade, conduzidas em sistema de sequeiro, na Fazenda Anhumas, da AlfaCitrus, localizada no município de Anhembi/SP (22°56'17"S e 48°16'05"W) e 600 metros de altitude. Segundo a classificação de Köppen (1948), a região possui clima tropical com estação seca de inverno, sendo classificada como Aw e solo franco-arenoso.

3.2 Delineamento experimental

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas (4x5), sendo as parcelas representadas pelas concentrações de Phe [T1 (0 mM), T2 (3 mM), T3 (6 mM) e T4 (9 mM)] e as subparcelas pelos intervalos de avaliação (0, 10, 20, 30 e 40 dias após o tratamento), com quatro repetições e dez frutos por subparcela experimental.

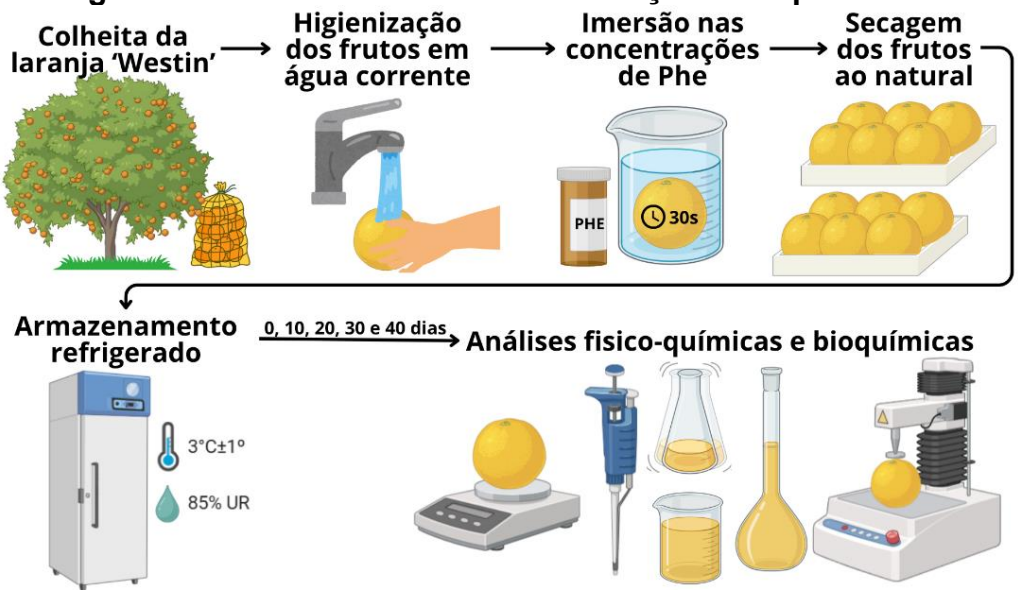
3.3 Instalação e condução do experimento

Os procedimentos adotados seguiram as boas práticas de colheita, recomendadas por Nascimento e Bender (2018), com a colheita realizada nas horas mais frescas do dia, evitando a exposição direta dos frutos ao sol, além do cuidado para não ferir os frutos. Árvores com sintomas de *Huanglongbing* (*HLB*) (*Candidatus liberibacter sp*.), deficiências nutricionais e danos mecânicos não foram selecionadas para a colheita. Após colhidos, os frutos foram acondicionados em sacos de colheita devidamente higienizados e transportados até o Laboratório de Fruticultura do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA)/ Universidade Estadual Paulista (UNESP)/ Botucatu (SP) – Brasil, onde foram distribuídos em bandejas plásticas, higienizados em água corrente e imersos em seus respectivos tratamentos.

O produto utilizado nos tratamentos foi o aminoácido L-fenilalanina (Phe), da Dinâmica Química®. As concentrações de Phe foram calculadas e preparadas um dia antes da imersão dos frutos, com diluição em água destilada, homogeneização por

agitação sob Agitador Magnético com Aquecimento Te-0853/1 da TECNAL® e armazenadas ao abrigo da luz a temperatura ambiente (±22ºC). Adaptando a metodologia adotada por Kumar Patel *et al.*, (2020), os frutos de laranja foram imersos durante 30 segundos nas respetivas concentrações de Phe a temperatura ambiente (±22ºC), com os frutos do controle imersos somente em água destilada. Após a imersão, os frutos foram deixados para secar ao natural, com posterior armazenamento refrigerado por até 40 dias em câmara tipo B.O.D. com controle de temperatura e umidade (3°C ±1º/ 85% UR) (Figura 1).

Figura 1 – Modelo ilustrativo da condução do experimento



Elaborado por: Ribeiro, Felipe R. de M. (2025)

3.4 Avaliações físicas e químicas

a) Massa do fruto (MF): Todos os frutos de cada tratamento foram pesados com o auxílio de balança analítica Marte - Série AY220, com o resultado expresso em gramas (g).

b) Massa do suco (MS): O suco de todos os frutos foi extraído com auxílio de um espremedor elétrico, peneirado para remoção dos bagaços e posteriormente foi determinada a massa em balança analítica Marte - Série AY220, com o resultado expresso em gramas (g).

c) Rendimento do suco (RS): Valor expresso em porcentagem (%), obtido da equação:

$$RS = \left[\left({}^{MS}/_{MF}\right) * 100\right]$$

d) Perda de massa do fruto (PM): De cada tratamento foram selecionados e identificados dez frutos, os quais foram pesados em balança analítica Marte - Série AY220 de forma individual nos dias de avaliação. Valor expresso em porcentagem (%), considerando a diferença entre a massa inicial do fruto e a massa obtida a cada dia de avaliação, segundo a fórmula:

$$PM = \left[\left({}^{(MF\ inicial - MF\ atual)}/_{MF\ inicial}\right) * 100\right]$$

e) Cor da casca: Obtido pelo uso do colorímetro 'Chroma Meter CR-410', o qual gera três valores de comprimento de onda da casca do fruto no Espaço de Cor CIE L*C*h, onde L indica a Luminosidade, C a Cromaticidade e ºh o Ângulo HUE. Estes resultados fornecem, respectivamente, informações sobre a luminosidade, saturação e ângulo de tonalidade do fruto (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., 2023). A leitura pelo colorímetro em cada um dos 10 frutos de cada tratamento se deu em triplicata, com as três medidas realizadas em pontos aleatórios da casca do fruto.

f) Firmeza dos frutos (FF): Obtida a partir de ensaios mecânicos não destrutivos, com o uso do 'Probe de compressão de Ø 75 mm' acoplado ao Texturômetro 'TA.XT.plus', um equipamento de alta precisão, comprimindo a fruta por 10 mm do ponto de contato na velocidade de 1,0 $mm.s^{-1}$, gerando um resultado de força expresso em Newtons (N) (Stable Micro Systems Ltd., 2025a, 2025b). Cada um dos 10 frutos de cada tratamento foi comprimido, realizando duas medidas por fruto, uma no sentido longitudinal e outra na vertical. As análises se deram em triplicata.

g) Sólidos solúveis (SS): Obtido após leitura de alíquotas do suco homogeneizado em Refratômetro Portátil Digital PAL-1, da ATAGO®, com leitura imediata dos resultados, expressos em (ºBrix) (AOAC, 2005). As análises se deram em triplicata.

h) Acidez titulável (AT): Obtida por titulação com hidróxido de sódio até o ponto de viragem de cor, com auxílio da fenolftaleína. De cada repetição foram pipetados 10mL da amostra homogeneizada em frasco Erlenmeyer, diluindo com 100mL de água destilada e adicionado 0,3mL de solução de fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1M sob agitação constante, até coloração rosa persistente por 30 segundos (Instituto Adolfo Lutz., 2008). Resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

i) Índice de maturação (IM): Valor adimensional, obtido da relação entre sólidos solúveis e acidez titulável:

$IM = SS/AT$

j) Ácido Ascórbico (AA): Obtido pipetando-se 2mL de suco de laranja e 50mL da solução de ácido oxálico a 1% em frasco Erlenmeyer, com posterior titulação do indicador 2,6-Diclorofenol Indofenol (DCFI) padronizado até coloração rosa persistente por 15 segundos. A padronização das leituras foi realizada por meio da titulação de solução padrão de ácido ascórbico. Valores expressos em mg.100mL^{-1} (Instituto Adolfo Lutz., 2008). As análises se deram em triplicata.

k) Índice Tecnológico (IT): Expresso em (kg SS.cx^{-1}), é calculado pela fórmula:

$$IT = (RS.SS.40{,}8) \,.\, 10^{-4}$$

Onde são expressos o rendimento em suco (%), sólidos solúveis (ºBrix) e a massa padrão da caixa de colheita de laranja (40,8kg) (Volpe; Schöffel e Barbosa, 2002).

l) Teores de Açúcares Redutores (AR), Açúcares Não Redutores (ANR) e Açúcares Totais (ATT): Obtidos por meio de metodologia descrita por Somogy e adaptada por Nelson (1944), com resultados expressos em %.

m) Polifenóis Totais (PFT): Determinados no suco obtido de cada repetição, segundo a metodologia adaptada de Swain e Hills (1959), com as leituras realizadas em Espectrofotômetro SP-1105 da Bel Photonics® a 750nm e resultados expressos em (mg GAE.100mL^{-1}).

n) Carotenoides Totais (CT): Determinados no suco obtido de cada repetição, segundo as equações de Lichtenthaler (1987) e metodologia adaptada de Sims e Gamon (2002), com as leituras realizadas em Espectrofotômetro SP-1105 da Bel Photonics® a 470 nm e resultados expressos em (mg.100g^{-1}).

3.5 Incidência de podridões

Foram realizadas avaliações visuais em todos os frutos das parcelas experimentais de cada tratamento avaliado, visando identificar a ocorrência natual de doenças causadoras de sintomas de podridões em pós-colheita (Fischer; Lourenço; Amorim, 2008).

A porcentagem de incidência de podridão dos frutos é determinada por meio da seguinte fórmula (Campbell; Madden, 1990):

$$Incidência\ de\ podridão\ no\ fruto\ = \left({}^{n}/_{N}\right) * 100$$

Onde o valor de 'N' representa a contagem total de frutos armazenados e 'n' representa o número de frutos com incidência de podridões.

Durante todo o período de avaliação, não foram observados sintomas de danos causadas por podridões pós-colheita nos frutos (Zadoks, 1985). Em função disso, não houve avaliações da severidade dos sintomas.

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados usando teste de normalidade do Minitab® versão 18 (Minitab., 2017), análises de variância e de regressão pelo Software Sisvar® (Ferreira, 2011) e gráficos elaborados via SigmaPlot® versão 14.0 (Systat Software Inc., 2017). Os dados de perda de massa, açúcar não redutor e polifenóis totais foram transformados estatisticamente para $x^{0,5}$ devido a natureza dos dados destas variáveis, com o valor original das médias gerais apresentados nas Tabelas 1 e 2. Para verificar o agrupamento das respostas, foi realizada a análise multivariada e de correlação utilizando o software XLSTAT® versão 26.4.1 (Lumivero., 2024). A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para caracterizar as interações entre as concentrações de Phe e os períodos de armazenamento sobre as variáveis analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis físicas avaliadas, observou-se significância estatística para a variável perda de massa (p<0,01) na interação entre as concentrações de L-Fenilalanina (Phe) e o período de armazenamento. Esse resultado indica que o efeito das concentrações foi influenciado pelo tempo de armazenamento e vice-versa, fazendo com que essa variável seja interpretada de forma conjunta entre os dois fatores. No que se refere ao efeito das concentrações de Phe, houve significância estatística para as variáveis de cor L, C e h, todas a (p<0,01), evidenciando que diferentes concentrações de Phe tiveram efeito nos indicadores colorimétricos dos frutos, independentemente do tempo de armazenamento. Por outro lado, o tempo de armazenamento apresentou efeito significativo (p<0,01) sobre todas as variáveis analisadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância das variáveis físicas: Massa do fruto (MF); perda de massa (PM); massa do suco (MS); rendimento de suco (RS); firmeza do fruto (FF); luminosidade (L); cromaticidade (C) e ângulo HUE (ºh) em frutos de laranja 'Westin' submetidos a diferentes concentrações de L-fenilalanina (Phe) e períodos de armazenamento em temperatura refrigerada (3°C±1º/ 85%UR)

FV	GL	MF	PM	MS	RS	FF	L	C	ºh
Concentrações (C)¹	3	0,22^{ns}	12,02**	1,41^{ns}	2,76^{ns}	1,65^{ns}	12,89**	10,90**	7,86**
Tempo (T)²	4	5,31**	3004,20**	6,53**	6,42**	69,88**	6,53**	12,53**	16,94**
C x T	12	0,89^{ns}	5,82**	1,06^{ns}	1,14^{ns}	1,37^{ns}	0,32^{ns}	1,54^{ns}	0,85^{ns}
C.V. (%)¹		7,38	10,33	9,54	6,71	14,08	3,64	6,92	4,49
C.V. (%)²		8,97	4,79	13,06	7,92	11,12	3,50	5,31	3,49
D.P.		18,14	2,39	14,24	4,66	17,62	3,24	5,49	5,05
Média geral		191,12	3,04	99,18	51,78	73,09	71,34	66,24	94,49

** e * = diferem estatisticamente a 1% e 5% de significância, respectivamente; ^{ns} = não diferem estatisticamente pelo teste F a <0,05.

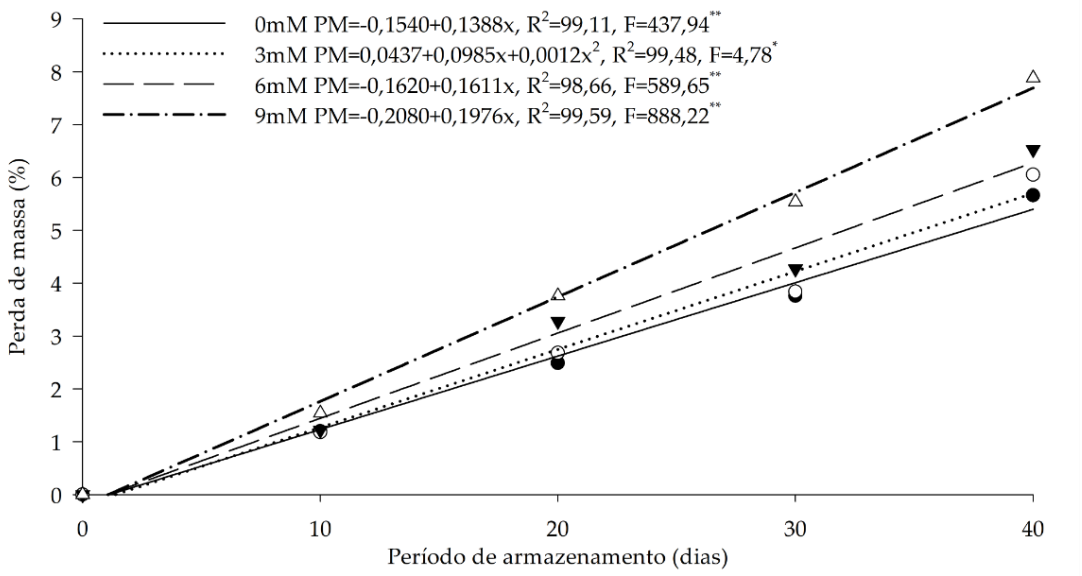
A perda de massa é um processo fisiológico inerente ao amadurecimento pós-colheita de frutos, causados principalmente pela perda de água ao longo do tempo, impactando diretamente a qualidade comercial e a vida útil do produto (Lufu; Ambaw; Opara, 2020). A laranja possui cerca de 86% de água em sua composição fresca, o que a torna altamente suscetível à desidratação, ao passo que perdas superiores a 5% da massa fresca comprometem sua qualidade visual, manifestando-se em sintomas como murchamento e enrugamento da casca (Rêgo *et al*., 2023). Ainda é possível encontrar na literatura variações nas porcentagens de perda de massa, enquanto Ladaniya (2022d) reporta prejuízos à qualidade comercial quando as perdas

ultrapassam 6%, Chitarra e Chitarra (2005) relatam danos mais acentuados a partir de 10%.

As perdas de massa dos frutos de 0 mM de Phe, 6 mM de Phe e 9 mM de Phe aumentaram linearmente durante o período de armazenamento, ao passo que 3 mM de Phe apresentou aumento quadrático (Figura 2). Analisando os resultados obtidos nos diferentes tratamentos, verificou-se que a maior concentração de Phe (9 mM), apresentou maior perda de massa (7,87%) e menor tempo de conservação (26 dias), segundo limite máximo de 5% de perda de massa citado por Rêgo *et al*., (2023). Em contraste, o tratamento controle (0 mM), apresentou a menor perda de massa (5,65%), mantendo as laranjas dentro do padrão aceitável por mais tempo (37 dias), diferindo em 11 dias a mais de conservação em relação a maior concentração.

A Phe atua como precursora para vários compostos fenólicos através da via dos fenilpropanoides (Mamari, 2021), ao se aplicar concentrações ótimas de Phe, que variam conforme a espécie de fruto, pode-se obter efeitos benéficos na conservação (Kumar Patel *et al*., 2020). No entanto, caso esteja em excesso, como possivelmente ocorreu na concentração de 9 mM, pode ter estimulado a via dos fenilpropanoides de forma desregulada, levando ao aumento na produção de compostos de defesa, danificando as membranas celulares e acelerando a perda de água.

Figura 2 – Perda de massa em frutos de laranja 'Westin', sob diferentes concentrações de Phe ao longo do período de armazenamento refrigerado (3°C±1/ 85%UR)



As mudanças de cores que ocorrem na casca durante o desenvolvimento e o amadurecimento dos frutos estão ligadas aos processos de síntese e degradação de pigmentos *(Siqueira; Salomão, 2017; Nascimento; Bender, 2018; Choo, 2019; Kou et al*., 2021). A aplicação de diferentes concentrações de Phe promoveu alterações significativas nos atributos colorimétricos da casca dos frutos de laranja 'Westin' (Figura 3). Para luminosidade (L) (Figura 3A), observa-se uma redução até o ponto de mínimo (3,76), próximo a dose de 3 mM, seguido por posterior aumento, com valores de 0 mM (71,96), 3 mM (68,90), 6 mM (70,81) e 9 mM (73,80). Isso demonstra que o tratamento com maior concentração de Phe apresentou frutos visualmente mais claros do que os demais.

A cromaticidade (C) (Figura 3B), se assemelha à L (Figura 3A), apresentando também uma tendência de redução até o ponto de mínimo (2,27), com posterior aumento, porém, com valores de 0 mM (65,03), 3 mM (62,24), 6 mM (67,56) e 9 mM (70,20). Isso demonstra que o aumento da concentração de Phe intensificou a saturação da cor da casca, promovendo uma aparência mais vívida e atraente. Esse efeito está associado à atuação da Phe como precursora na via dos flavonoides, que contribuem diretamente na coloração da casca dos frutos cítricos.

Já o ângulo HUE (ºh) (Figura 3C), que indica a tonalidade da cor, apresentou ajuste quadrático, com seu pico máximo estimado em torno de 3,34 mM de Phe, valor este, próximo da concentração de 3 mM de Phe. A partir desse ponto, observa-se uma redução nos valores de ºh, indicando mudança na tonalidade da casca dos frutos, variando de tons esverdeados para alaranjados. Essa resposta sugere que até a concentração intermediária, a Phe não afetou o desverdecimento do fruto, favorecendo a preservação da coloração verde na casca. Em concentrações mais elevadas, possivelmente, houve um aumento na produção de etileno, hormônio produzido em situações de estresse (Fatma *et al*., 2022; Neves; Correia; Canhoto, 2024). Estas alterações colorimétricas podem ser visualizadas na Figura 4.

As alterações colorimétricas observadas em resposta às concentrações de Phe refletem o papel desse aminoácido como precursor na biossíntese de pigmentos naturais, como flavonoides (Falcone Ferreyra; Rius; Casati, 2012). A interação desses compostos amplia a diversidade de cores nos frutos (Tanaka; Sasaki; Ohmiya, 2008). Níveis mais altos de Phe favoreceram o acúmulo de pigmentos associados à maturação, melhorando a aparência e a aceitabilidade comercial dos frutos, esse

efeito ocorre devido à degradação enzimática da clorofila, típico de frutos cítricos maduros (Kou *et al*., 2021).

Figura 3 - Luminosidade (A), cromaticidade (B) e ângulo HUE (C) em frutos de laranja 'Westin', sob diferentes concentrações de Phe

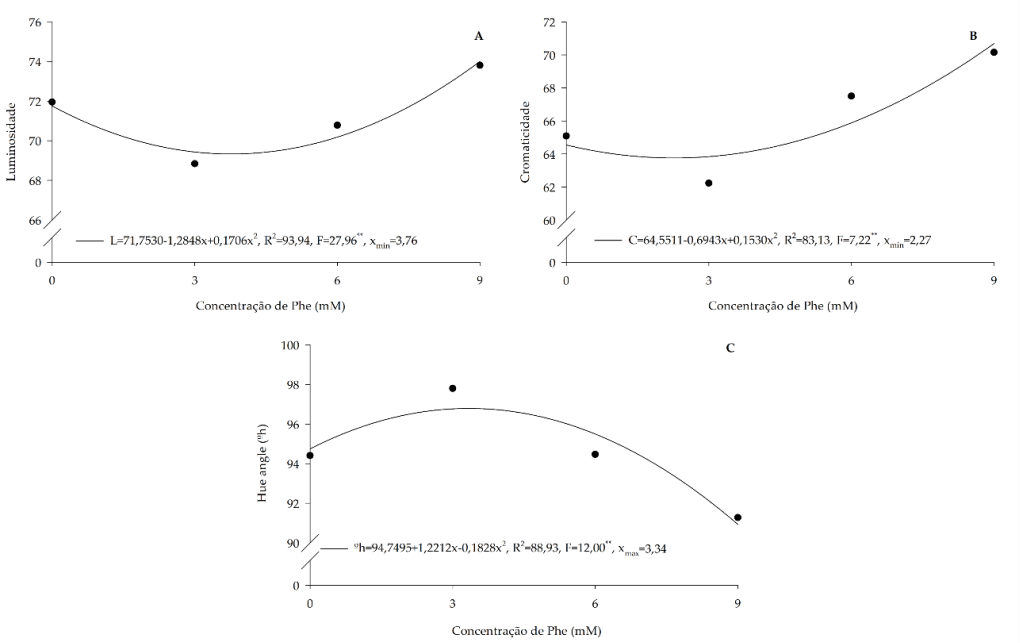
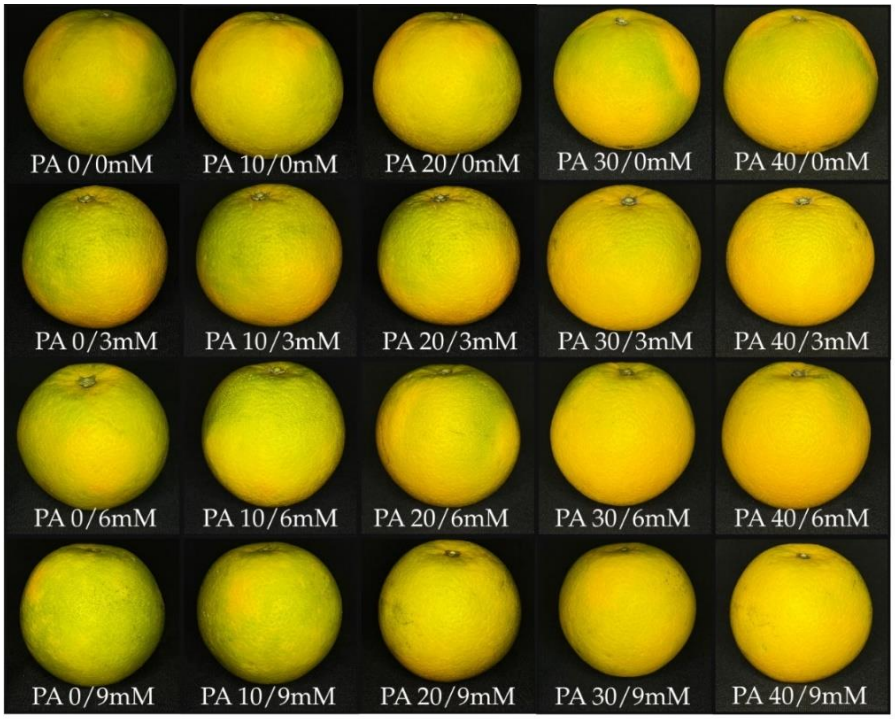


Figura 4 - Laranjas 'Westin' e sua relação com o período de armazenamento (PA) e concentrações de Phe.



Elaborado por: Ribeiro, Felipe R. de M. (2024)

O período de armazenamento refrigerado teve efeito significativo nas características físicas das laranjas ‘Westin’ (Figura 5). Observou-se padrão de redução linear progressiva para massa do fruto (MF), massa do suco (MS), firmeza do fruto (FF) e ângulo HUE (ºh), (Figuras 5A, 5B, 5D e 5G). A variável rendimento de suco (RS) apresentou ajuste quadrático, com valor máximo próximo aos 15 dias de armazenamento, sofrendo posterior queda (Figura 5C). Verificou-se um aumento linear significativo para as variáveis colorimétricas L e C (Figura 5E e 5F), sugerindo alterações nas características superficiais dos frutos durante o período de armazenamento.

Para a variável MF (Figura 5A) verificou-se variação entre 204,96 g e 181,54 g durante o período de armazenamento. A massa média dos frutos da cv. Westin, nas condições de cultivo do Estado de São Paulo, é de 145 g (Fundecitrus., 2024). Melo (2021), ao avaliar as características físicas em estádio de maturação comercial de sete cultivares de laranja no Território da Borborema (Paraíba), constatou que a ‘Westin’ apresentou o segundo maior valor de massa fresca, com média de 168,35 g. Oliveira *et al.,* (2016) e Schwarz *et al.,* (2018) encontraram valores de MF entre 130 g a 160 g para as condições do Rio Grande do Sul, sendo variável em função do manejo adotado.

Para a variável MS (Figura 5B) observou-se variação entre 106,29 g e 86,60 g durante o período de armazenamento. Embora a literatura não apresente dados diretos sobre essa variável, foi possível estimar valores com base na massa do fruto e no rendimento de suco descritos em outros estudos, com valores médios de 72,5 g (Schwarz; Souza; Oliveira, 2018), 67,6 g a 89,6 g (Oliveira *et al*., 2016) e 113,92 g (Melo, 2021).

O RS (Figura 5C) apresentou ajuste quadrático bem definido ao longo do período de armazenamento. Observou-se uma fase inicial de aumento progressivo no rendimento de suco, que atingiu seu valor máximo de 54,10% aproximadamente aos 15 dias de armazenamento. Esse incremento inicial pode ser explicado pelo processo de desidratação preferencial que ocorre na casca dos frutos durante os primeiros dias de armazenamento. À medida que a casca perde água, ocorre redução proporcional de sua massa em relação ao conteúdo total do fruto, resultando em aumento relativo do percentual de suco extraível.

Após o ponto de máximo, constatou-se uma tendência decrescente significativa no RS. Essa mudança de padrão indica uma transição no processo de perda hídrica,

que passa a ocorrer predominantemente na polpa do fruto, associado a alterações na permeabilidade das membranas celulares e na integridade dos tecidos internos, reduzindo a quantidade de suco disponível para extração. Estes resultados estão em concordância com Oliveira *et al.,* (2016) e Schwarz *et al.,* (2018), os quais mencionam que a cv. Westin possui alto rendimento de suco, variando entre 50-56%, enquanto para Melo (2021), o rendimento para tal cultivar foi de 67,67%, embora em condições experimentais distintas. Assim, a análise de RS sugere que o tempo ideal de armazenamento para esta condição experimental, visando otimizar o rendimento de suco é de até duas semanas.

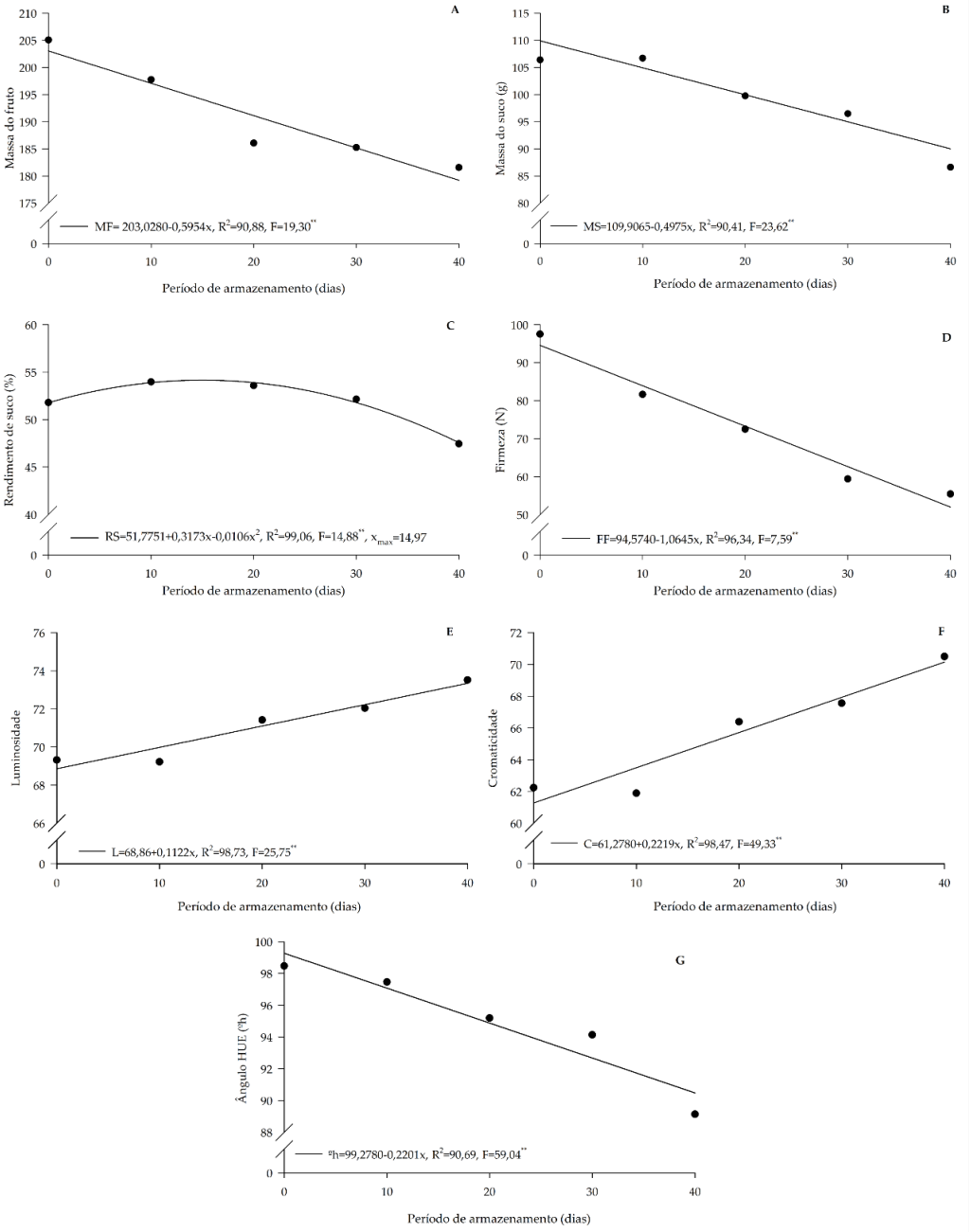
Houve variação de 97,58 N a 55,12 N na FF durante o período de armazenamento (Figura 5D), demonstrando uma redução progressiva desta variável. A firmeza é um atributo de qualidade de suma importância para o consumidor (Melo *et al*., 2016). A perda de firmeza, manifestada pelo amolecimento dos frutos, compromete sua vida pós-colheita. Essa maior maciez aumenta a suscetibilidade a danos mecânicos e à infecção por patógenos nas etapas de manuseio e transporte (Rizzo *et al*., 2023). Em estudo comparativo, Melo (2021) registrou valores de firmeza de 31,54N para a mesma cultivar. Complementando essas observações, Rêgo *et al.,* (2023) explicam que a perda de firmeza está diretamente associada à redução do conteúdo hídrico do fruto, processo que desencadeia o aparecimento de sintomas visíveis como murchamento e enrugamento da superfície, além da diminuição do peso fresco.

Entre os parâmetros essenciais para avaliação da qualidade de laranjas destacam-se a intensidade e uniformidade da coloração da casca (Ritenour, 2016). Neste estudo, a análise das variáveis colorimétricas revelou padrões complementares durante o armazenamento refrigerado. A variável L (Figura 5E), apresentou aumento linear acentuado, variando de 69,36 para 73,52, indicando progressivo clareamento da casca. Simultaneamente, C (Figura 5F) apresentou crescimento linear progressivo, aumentando de 62,26 para 70,52, o que reflete aumento na vividez e pureza da coloração. Como referência, valores próximos a zero indicam cores neutras, enquanto valores elevados correspondem a tonalidades mais vivas e intensas (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., 2023).

Em contrapartida, o ºh apresentou redução linear de 98,53°h para 89,19°h, caracterizando transição tonal de verde para amarelo-alaranjado (Figura 5G). Conforme demonstrado por Kou *et al*. (2021), essa mudança resulta da degradação

enzimática da clorofila e do concomitante acúmulo de carotenoides, pigmentos responsáveis pelas tonalidades quentes, características de frutos cítricos maduros. A análise conjunta dos parâmetros L, C e ºh permite concluir que, durante o armazenamento, os frutos desenvolveram uma coloração mais clara (↑L), intensa (↑C) e com tonalidade mais alaranjada (h≈90º).

Figura 5 - Massa do fruto (A), massa do suco (B), rendimento de suco (C), firmeza do fruto (D), luminosidade (E), cromaticidade (F) e ângulo HUE (G) em frutos de laranja 'Westin' ao longo de períodos de armazenamento refrigerado



Para as variáveis físico-químicas e bioquímicas avaliadas observou-se significância estatística na interação entre as concentrações de Phe e o período de armazenamento para as variáveis acidez titulável (AT) e índice de maturação (IM) a (p<0,01), e sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico (AA) e açúcares redutores (AR) a (p<0,05). Considerando o efeito das concentrações de Phe, somente a variável açúcares totais (ATT) (p<0,01) apresentou significância estatística. Em relação ao tempo de armazenamento, observaram-se efeitos significativos sobre as variáveis índice tecnológico (IT) e polifenóis totais (PFT) (p<0,01), açúcares não redutores (ANR) e carotenoides totais (CT) (p<0,05) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de variância das variáveis físico-químicas e bioquímicas: Sólidos solúveis (SS); acidez titulável (AT); índice de maturação (IM); índice tecnológico (IT); ácido ascórbico (AA); açúcares totais (ATT); açúcares redutores (AR); açúcares não redutores (ANR); carotenoides totais (CT) e polifenóis totais (PFT) em frutos de laranja 'Westin' submetidos a diferentes concentrações de L-fenilalanina (Phe) e períodos de armazenamento em temperatura refrigerada (3°C ±1º/ 85% UR)

FV	GL	SS	AT	IM	IT	AA
Concentrações (C)¹	3	0,95^{ns}	2,63^{ns}	3,10^{ns}	1,45^{ns}	0,42^{ns}
Tempo (T)²	4	3,29*	85,77**	464,80**	11,69**	173,91**
C x T	12	2,38*	6,07**	7,03**	1,80^{ns}	2,16*
C.V. (%)¹		5,39	16,26	8,84	7,03	9,61
C.V. (%)²		4,05	14,38	9,40	7,87	10,93
D.P.		0.68	0.61	4.56	0.29	14.84
Média geral		13,84	1,69	9,63	2,92	43,24
FV	**GL**	**ATT**	**AR**	**ANR**	**CT**	**PFT**
Concentrações (C)¹	3	51,53**	201,18**	3,24^{ns}	1,32^{ns}	2,21^{ns}
Tempo (T)²	4	2,26^{ns}	2,00^{ns}	3,75*	5,86*	3,89**
C x T	12	1,25^{ns}	2,04*	0,51^{ns}	0,96^{ns}	0,42^{ns}
C.V. (%)¹		12,30	9,73	22,89	20,91	13,08
C.V. (%)²		15,07	16,09	31,47	22,88	11,65
D.P.		1.61	1.57	1.14	0.39	7.39
Média geral		7,00	4,96	1,94	1,55	30,99

** = diferem estatisticamente a 1% de significância; * = diferem estatisticamente a 5% de significância; ^{ns} = não diferem estatisticamente pelo teste F a <0,05.

Os frutos cítricos possuem baixos teores de amidos, como consequência, a evolução dos açúcares é praticamente interrompida após colhidos e durante o armazenamento (Siqueira; Salomão, 2017). Neste estudo, a concentração 0 mM apresentou um leve aumento de SS durante o armazenamento (13,42º – 13,8ºBrix),

enquanto os outros tratamentos apresentaram tendência de redução no mesmo período, com valores de 3 mM (14,02º – 13,42ºBrix), 6 mM (14,15º – 13,15ºBrix) e 9 mM (14,17º – 13,42ºBrix) (Figura 6A). Esta tendência de não evolução com o tempo também é relatada por Kluge *et al* (2007), onde nos frutos cítricos, os teores de SS apresentaram pequena variação e queda dos valores durante o armazenamento refrigerado.

Melo (2021) encontrou valores iniciais de SS para a cv. Westin de 9,67%, enquanto Schwarz *et al*., (2018) citam valores médios de 12,2ºBrix. Estas pequenas variações nos teores de SS podem ser explicadas por dois principais fatores, sendo o primeiro por se tratarem de frutos diferentes e o segundo, conforme descrito por Chitarra e Chitarra (2005), que os sólidos solúveis representam predominantemente o conteúdo de açúcares, porém ainda incluem proporções de ácidos orgânicos, vitaminas, aminoácidos e frações pectínicas.

A acidez dos frutos cítricos é determinada principalmente pelo ácido cítrico, que corresponde a 80-85% da acidez titulável. Durante o desenvolvimento inicial do fruto, este ácido se acumula até atingir seu conteúdo máximo, mantendo-se praticamente constante até a colheita. No processo de amadurecimento, a redução na concentração de ácidos ocorre principalmente por diluição, devido ao aumento do volume de suco, embora o conteúdo total de AT permaneça estável. Esta diminuição da acidez, que confere o característico sabor ácido aos frutos, melhora sua qualidade sensorial, pois excessos de acidez comprometem a aceitação para consumo *in natura* (Anese; Fronza, 2015; Siqueira; Salomão, 2017).

Ao analisar a AT (Figura 6B), nota-se ajuste linear decrescente para 3 mM (2,8% – 0,67% de ácido cítrico) e quadrático para 0 mM (2,0% – 0,79% de ácido cítrico), 6 mM (1,63% – 0,80% de ácido cítrico) e 9 mM (2,56% – 0,73% de ácido cítrico), apresentando aumento inicial seguido por declínio dos valores de 0 mM e 6 mM apresentando respectivamente, ponto de máximo próximo aos dias 12 e 15 de armazenamento. Schwarz *et al*. (2018) citam valores médios de 0,93% para a acidez na mesma cultivar. Siqueira e Salomão (2017) relatam que a diluição ocasionada pelo aumento do volume de suco reduz a concentração de ácidos durante a maturação.

O IM é obtido pela relação entre SS/AT, sendo o parâmetro mais utilizado para determinar o ponto ideal de colheita dos frutos cítricos, sendo indicativo de sabor, pois mostra o balanço entre os ácidos orgânicos e os açúcares. Este valor é variável, para laranjas de mesa, recomendando-se mínimo de 9,5, ao passo que, valores superiores

a 16, indicam frutos muito maduros, ficando inadequados para a comercialização, com sabor comprometido (Siqueira; Salomão, 2017; Nascimento; Bender, 2018). Neste estudo, os valores de IM apresentaram ajuste quadrático crescente (Figura 6C), com os tratamentos seguindo o mesmo padrão de resposta ao longo do período de armazenamento, apresentando valores de 0 mM (6,76 – 17,59), 3 mM (5,26 – 19,71), 6 mM (8,68 – 17,22) e 9 mM (5,61 – 18,64). Melo (2021) encontrou valores de IM entre 10 e 20 para a mesma cultivar.

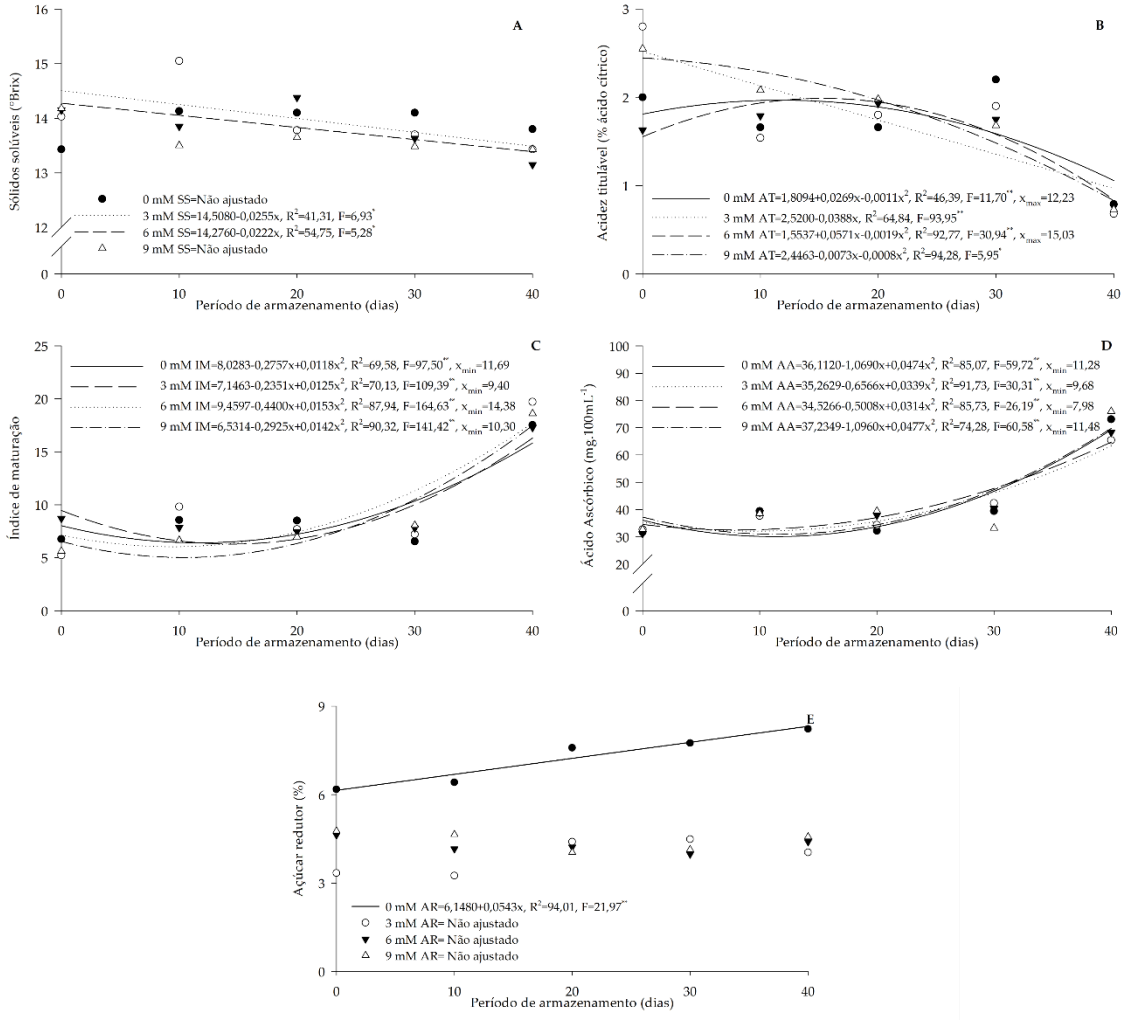
Segundo os critérios de Siqueira e Salomão (2017), os tratamentos neste estudo, atingiram o IM mínimo desejável de 9,5 em diferentes momentos: 6 mM no 26º dia, 0 mM no 27º, 9 mM no 28º e 3 mM no 29º dia. Quanto ao limite superior de 16, este foi alcançado pelos tratamentos 6 mM e 9 mM no 38º dia, e por 0 mM e 3 mM dois dias depois, no 40º dia. Por se tratar de uma relação entre valores, a elevação deste índice pode ocorrer de duas formas, a primeira pela elevação do teor de SS (Figura 6A), o que de modo geral não ocorreu neste estudo e a outra pela perda da acidez (Figura 6B), que, neste caso, ocorreu de forma mais acentuada nos períodos finais de armazenamento, coincidindo com o aumento do índice no decorrer do tempo.

O ácido ascórbico (AA) é considerado o principal composto bioativo do suco cítrico (Berk, 2016b). Verificou-se aumento quadrático nos teores de AA (Figura 6D) ao longo do período de armazenamento em todos os tratamentos, com valores expressos em $mg.100mL^{-1}$, de 0 mM (31,73 – 73,08), 3 mM (32,69 – 65,38), 6 mM (31,25 – 68,27) e 9 mM (32,69 – 75,96). Estudos reportam variações nos teores de AA em diferentes cultivares de laranja, bem como efeitos distintos durante o armazenamento pós-colheita. Melo (2021) observou que os valores de AA para a cv. Westin variaram entre 40 e 50 $mg.100g^{-1}$, enquanto Bezerra e Gonçalves (2008) registraram um teor médio de 45,62 $mg.100g^{-1}$ para a mesma cultivar, porém em condições experimentais distintas. Quanto à dinâmica pós-colheita, Lisbôa *et al*. (2023), utilizando revestimentos comestíveis, constataram que, em laranja 'Natal CNPMF 112', a concentração de AA aumentou linearmente ao longo do armazenamento. Esse padrão de aumento assemelha-se ao observado na Figura 6D do presente estudo, embora, neste caso, o crescimento tenha seguido um modelo quadrático, indicando uma taxa de acúmulo não constante.

Houve aumento linear nos açúcares redutores na concentração 0 mM ao longo do período de armazenamento (6,18 - 8,23%) (Figura 6E). Para os demais tratamentos, os resultados obtidos não foram ajustados no modelo de regressão linear

e quadrática. Os açúcares redutores e não redutores correspondem a cerca de 12% da composição do suco de laranja, sendo a glicose e frutose os principais representantes dos açúcares redutores (Siqueira; Salomão, 2017; Nascimento; Bender, 2018).

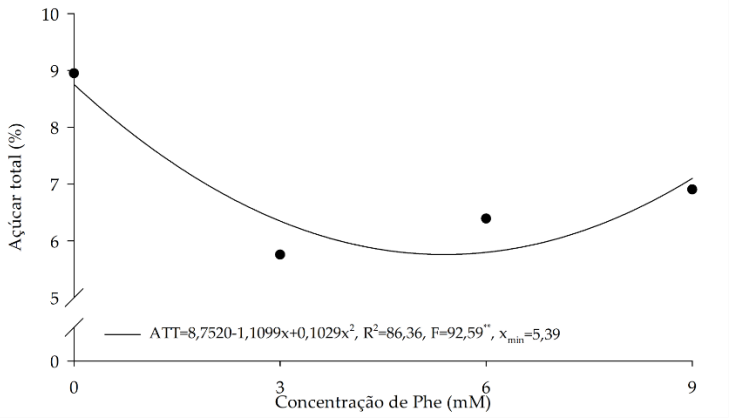
Figura 6 - Sólidos solúveis (A), acidez titulável (B), índice de maturação (C), ácido ascórbico (D) e açúcares redutores (E) em frutos de laranja 'Westin', sob diferentes concentrações de Phe ao longo de períodos de armazenamento refrigerado



No tratamento controle (0 mM), os frutos apresentaram o maior teor de açúcares totais, atingindo o valor de 8,95%. Com o aumento da concentração de Phe em 3 mM, 6 mM e 9 mM, observou-se uma redução em relação a 0 mM, com aumento nestes teores de 5,76%, 6,39% e 6,90% respectivamente (Figura 7). Os teores de açúcares totais (ATT) apresentaram ajuste quadrático crescente em função das concentrações de L-fenilalanina (Figura 7), com redução significativa nas doses

intermediárias (3 – 6 mM) e posterior aumento na concentração de 9 mM. Esse padrão sugere um impacto direto da Phe sobre o metabolismo dos frutos, com a redução destes teores nas doses intermediárias podendo estar associada ao aumento da atividade respiratória, uma vez que a respiração celular utiliza açúcares como principal fonte de energia, resultando na produção de CO_2 e água. Essa água, por sua vez, é eliminada do fruto, contribuindo para a perda de massa fresca. A proporcionalidade observada entre a perda de massa e a redução nos teores de açúcares totais reforça a hipótese de que a intensificação da respiração promove maior consumo de substratos, resultando em maior desidratação dos frutos (Menezes *et al*., 2021).

Figura 7 - Açúcares totais em frutos de laranja 'Westin', sob diferentes concentrações de Phe



Nascimento e Bender (2018) destacam a sacarose (açúcar não redutor) como principal componente dos açúcares presentes nos frutos. Verificou-se ajuste quadrático, com aumento incial até o ponto máximo aos 14,8 dias, com posterior queda (Figura 8A).

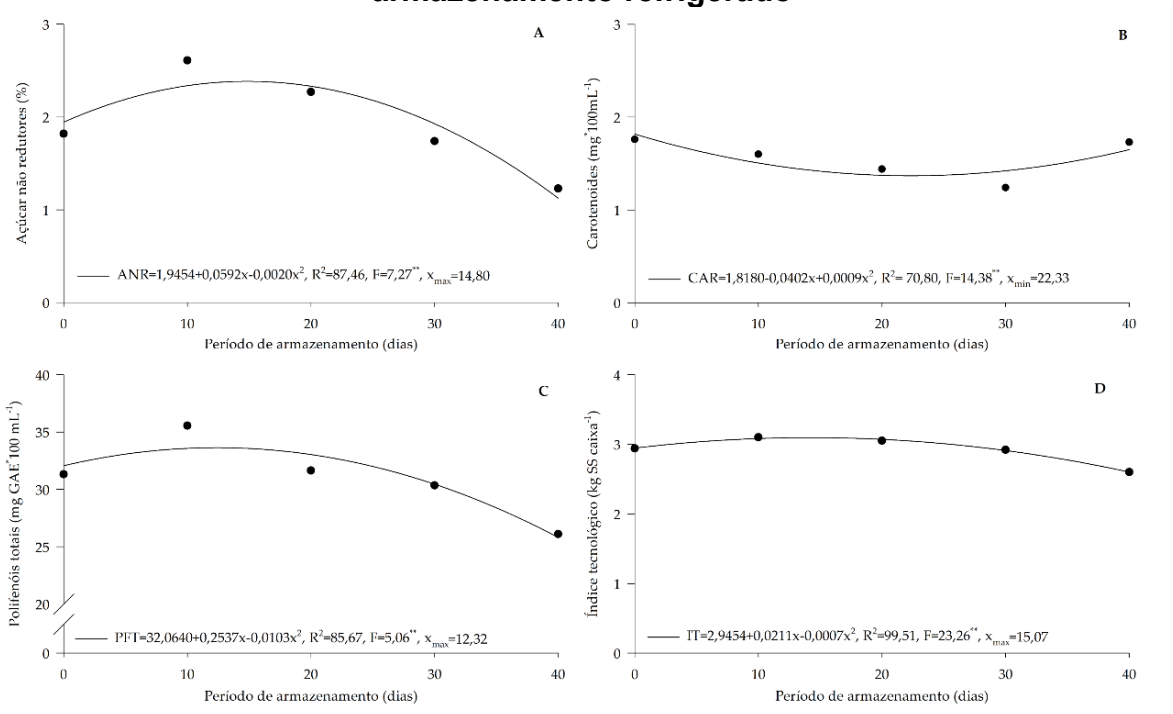
Os carotenoides (CT) são classe de pigmentos importantes envolvidos na mudança de cor dos frutos cítricos, que se acumulam durante o amadurecimento da fruta, atribuindo coloração que varia entre tons de amarelos e vermelhos (Nascimento; Bender, 2018; Sun *et al*., 2018). Estão mais presentes no flavedo da casca do que nas vesículas de suco (Multari *et al*., 2020). Houve ajuste quadrático desta variável, com queda nos valores iniciais e posterior aumento ao final do armazenamento, com valores sequenciais ao longo do tempo de 1,76; 1,60; 1,44; 1,24 e 1,73 mg.100mL^{-1} (Figura 8B).

Os teores de polifenóis totais (PFT) (Figura 8C), apresentaram ajuste quadrático durante o período avaliado, com aumento no período inicial, atingindo o

ponto de máximo no 12º dia e posterior queda, com valores sequenciais de 31,31; 35,55; 31,64; 30,34 e 26,10 mg GAE.100g^{-1}. Estes resultados estão em concordância com os de Melo (2021), que estudando a mesma cultivar, obteve valor médio de 31,27 mg GAE.100g^{-1} para polifenóis totais, corroborando os dados deste presente estudo.

O índice tecnológico (IT) é influenciado por dois parâmetros, o teor de sólidos solúveis e o rendimento em suco (Volpe; Schöffel; Barbosa, 2002). Houve ajuste quadrático desta variável, apresentando crescimento inicial até atingir o ponto máximo logo após o 15º dia (3,10 kgSS.cx^{-1}), com posterior queda até 2,60 kgSS.cx^{-1} (Figura 8D). Essa queda é esperada, visto que as variáveis RS e SS obtidas neste estudo diminuíram conforme o período de armazenamento. Utilizando valores de SS e RS obtidos por Melo (2021), foi possível calcular o IT obtido em seu estudo, sendo de 2,67 kgSS.cx^{-1}. Este valor está muito próximo do encontrado no final do período de armazenamento.

Figura 8 - Açúcares não redutores (A), carotenoides (B), polifenóis totais (C) e índice tecnológico (D) em frutos de laranja 'Westin' ao longo de períodos de armazenamento refrigerado



Um dos objetivos do estudo foi avaliar os efeitos da conservação em armazenamento refrigerado e aplicação de concentrações de Phe na ocorrência de podridões pós-colheita nos frutos e também, a severidade das injúrias causadas pelos

patógenos. As podridões constituem-se na principal causa de danos pós-colheita em citros e se expressam desde a colheita até seu uso pelo consumidor. A porcentagem de perdas variam de 25% a 30% em países em desenvolvimento entretanto, sob condições favoráveis aos fitopatógenos perdas consideráveis em pós-colheita podem ocorrer, sendo responsáveis por 50% a 60% dessas perdas no período de comercialização de laranja (Ladaniya, 2022a, 2022e). A caracterização dos danos é muito importante e visa facilitar a tomada de decisão quanto à necessidade de investimento em medidas de prevenção.

No entanto, os resultados obtidos durante os 40 dias de avaliações, não permitiram a identificação da ocorrência de podridões nos frutos da laranja 'Westin'. A principal hipótese para esse resultado é que o grau de maturação do fruto na colheita sucedidos por boas práticas de manejo, condicionam a sua qualidade pós-colheita. Com isso, é possível inferir que os frutos foram colhidos de maneira correta no estádio ideal e bem armazenados. Outros fatores a serem considerados, foram a higienização dos frutos em água corrente antes da aplicação dos tratamentos, com posterior secagem a temperatura ambiente (±22ºC) e armazenamento em câmara tipo B.O.D. devidamente higienizada internamente, constituindo-se como um método alternativo visando o controle das podridões em pós-colheita.

A análise de componentes principais (PC1 e PC2) representou 61,29% da variação total dos dados (Figura 9), sendo 48,38% atribuídos ao PC1 e 12,91% ao PC2, indicando que a maior parte da variação nas características dos frutos pode ser explicada por esses dois eixos. Observando o biplot, verificou-se que os tratamentos com maior período de armazenamento, especialmente os de 40 dias, foram associados a variáveis como perda de massa (PM), luminosidade (L), cromaticidade (C), índice de maturação (IM) e ácido ascórbico (AA), indicando que a combinação de maiores doses de Phe com armazenamento prolongado resultou em frutos com casca mais claras e saturadas, com suco apresentando teores mais elevados de ácido ascórbico, mas também com maior perda de massa e maior índice de maturação.

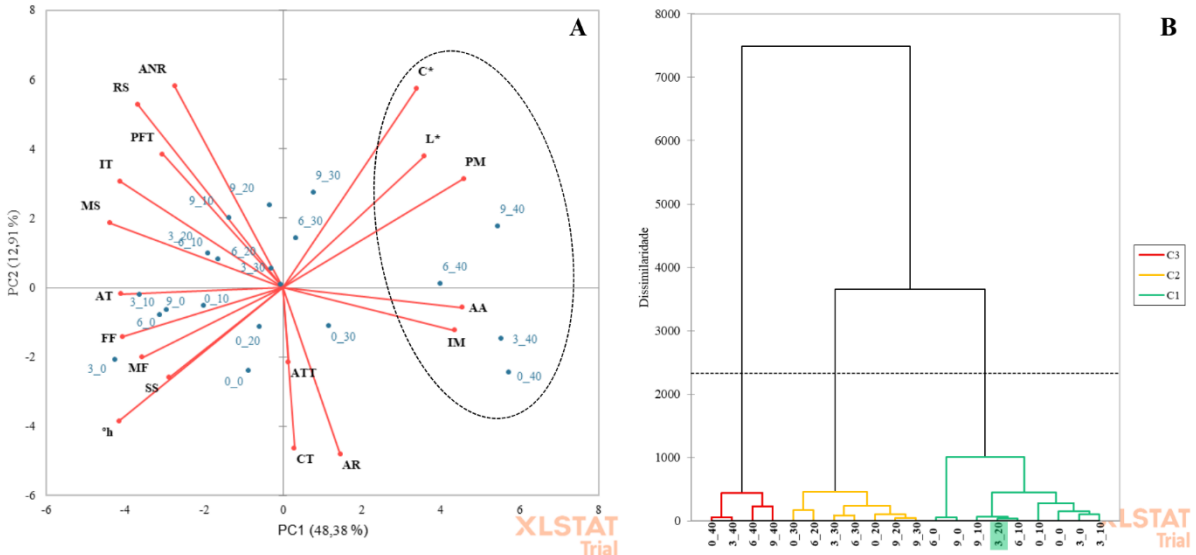
Por outro lado, os tratamentos com menor período de armazenamento (0 e 10 dias) se agruparam em regiões do gráfico próximas às variáveis massa do fruto (MF), sólidos solúveis (SS) e firmeza dos frutos (FF), refletindo frutos com maior peso, maior teor de sólidos solúveis e maior firmeza, características desejáveis em frutos recém colhidos, mantendo boa qualidade física. Os períodos de armazenamento intermediários (20 e 30 dias), especialmente os frutos com a concentração de 3 mM

de Phe, ocuparam uma posição central no biplot, demonstrando um comportamento equilibrado entre os parâmetros físicos e químicos, sem excessiva perda de massa ou drástica redução da firmeza, apresentando manutenção nos atributos visuais.

Além disso, a direção e o agrupamento dos vetores das variáveis evidenciaram correlações importantes. Variáveis como PM, L e C apresentaram forte correlação positiva entre si, demonstrando que o aumento da perda de massa foi acompanhado de maior clareamento e intensificação da coloração da casca. Em contrapartida, a firmeza e a massa dos frutos mostraram correlação negativa com esses parâmetros, indicando que frutos mais desidratados apresentaram menor firmeza.

O dendrograma de cluster confirma a separação observada na PCA, agrupando os tratamentos em três grandes grupos (C1, C2 e C3). O grupo C1 (em verde) representa os tratamentos com melhor desempenho qualitativo, estando associados às características desejáveis de conservação. O grupo C3 (vermelho) representa os tratamentos menos favoráveis, com maior degradação da qualidade dos frutos. Já o grupo C2 (amarelo) apresenta um comportamento intermediário, indicando uma transição entre os dois extremos.

Figura 9 - Análise de componentes principais (A) e dendrograma de cluster (B) das variáveis, tratamentos e período de armazenamento dos frutos de laranja 'Westin'



5 CONCLUSÕES

A aplicação de 3 mM de Phe é a concentração ideal para conservação de laranjas 'Westin' sob armazenamento refrigerado, mantendo o equilíbrio entre qualidade física e aparência visual. Sua principal vantagem é a aplicabilidade em propriedades de baixa tecnificação, por dispensar equipamentos complexos, diferentemente de ceras convencionais.

Considerando que ausência de podridões, coloração uniforme e firmeza são indicadores decisivos para a comercialização no mercado *in natura*, recomenda-se que os frutos da laranja 'Westin' sejam comercializados entre 15 e 20 dias de armazenamento refrigerado. Este intervalo apresenta o rendimento máximo de suco (54,10%), perda de massa abaixo de 5% e a melhor relação entre vivacidade e tonalidade da casca, embora o índice mínimo de maturação exigido (9,5) não tenha sido atingido até os dias 26-29, dependendo do tratamento aplicado.

REFERÊNCIAS

ANESE, R. O.; FRONZA, D. **Fisiologia Pós-Colheita em Fruticultura.** 1. ed. Santa Maria, RS, Brasil: Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, 2015. ISBN 978-85-63573-89-6.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC INTERNATIONAL, 2005. ISBN 0-935584-77-3.

BABARABIE, Mehrdad *et al.* Carnauba wax-based edible coatings retain quality enhancement of orange (Citrus sinensis cv. Moro) fruits during storage. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 4133, 19 fev. 2024. doi:10.1038/s41598-024-54556-1.

BALDWIN, Elizabeth A. Flavor. *In*: **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks (Agriculture Handbook No. 66).** Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 2016. p. 128–148.

BENATO, Eliane Aparecida *et al.* Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. **Summa Phytopathologica**, v. 44, p. 65–71, mar. 2018. doi: 10.1590/0100-5405/175659.

BERK, Zeki. Chapter 6 - Postharvest changes. *In*: BERK, Zeki (Org.). **Citrus Fruit Processing.** 1. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2016a. v. 1 p. 95–105. ISBN 978-0-12-803133-9.

BERK, Zeki. Chapter 2 - Morphology and chemical composition. *In*: BERK, Zeki (Org.). **Citrus Fruit Processing.** 1. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2016b. v. 1 p. 9–54. ISBN 978-0-12-803133-9.

BEZERRA, E. A.; GONÇALVES, I. L. **Avaliação do pH das variedades de laranja na cidade de Caxias – MA a partir das massas de ácido ascórbico e ácido cítrico anidro na amostra de suco natural.** Disponível em: <https://www.abq.org.br/simpequi/2008/trabalhos/64-4403.htm>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BHATTA, Usha K. Alternative Management Approaches of Citrus Diseases Caused by Penicillium digitatum (Green Mold) and Penicillium italicum (Blue Mold). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 22 fev. 2022. doi:10.3389/fpls.2021.833328.

BLASCO, José *et al.* Recognition and classification of external skin damage in citrus fruits using multispectral data and morphological features. **Biosystems Engineering**, v. 103, n. 2, p. 137–145, 2009. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.03.009.

CAICEDO-LÓPEZ, Laura Helena *et al.* Elicitores: implicações bioéticas para a agricultura e a saúde humana. v. 29, p. 76–86, 2021. doi:10.1590/1983-80422021291448.

CAMPBELL, CL; MADDEN, LV. **Introdução à epidemiologia de doenças de plantas.** Nova York: John Wiley & Sons, 1990. ISBN 978-0-471-83236-2.

CHEN, Chuying *et al.* Clove Essential Oil as an Alternative Approach to Control Postharvest Blue Mold Caused by Penicillium italicum in Citrus Fruit. **Biomolecules**, v. 9, n. 5, p. 197, 21 maio 2019.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. Lavras, MG, Brazil: ESAL: FAEPE, 2005.

CHOO, Wee Sim. Fruit Pigment Changes During Ripening. *In*: MELTON, Laurence; SHAHIDI, Fereidoon; VARELIS, Peter (Orgs.). **Encyclopedia of Food Chemistry**. Oxford: Academic Press, 2019. p. 117–123.

ECFR. **21 CFR 172.320 -- Amino acids.** , 2025. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/part-172/section-172.320#p-172.320(a)(16)>. Acesso em: 12 mar. 2025

EJAZ, Shaghef *et al.* Chapter 25 - Strategies to Reduce Postharvest Losses of Citrus Fruits. *In*: **Citrus Production.** 1. ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2022.

FALCONE FERREYRA, María L.; RIUS, Sebastián P.; CASATI, Paula. Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 3, p. 222, 28 set. 2012.

FAO. **Aqui está um segredo: minimizar a perda de alimentos é mais fácil do que você pensa**. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1606975/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FATMA, Mehar *et al.* Ethylene Signaling under Stressful Environments: Analyzing Collaborative Knowledge. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2211, jan. 2022.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039–1042, dez. 2011.

FISCHER, Ivan H.; LOURENÇO, Silvia A.; AMORIM, Lilian. Doenças pós-colheita em citros e caracterização da população fúngica ambiental no mercado atacadista de São Paulo. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, p. 219–226, jun. 2008.

FUNDECITRUS. **Inventário e estimativa do cinturão citrícola: safra 2024-2025.** Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2024_06_10_invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2024-2025.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

GCCA. **Oranges (Valencia and Other Round Oranges)**. Disponível em: <https://www.gcca.org/commodity/oranges-valencia-and-other-round-oranges/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

GUEST, D. I. Phytoalexins, Natural Plant Protection. *In*: THOMAS, Brian; MURRAY, Brian G.; MURPHY, Denis J. (Orgs.). **Encyclopedia of Applied Plant Sciences.** 2. ed. Oxford: Academic Press, 2017. p. 124–128.

HUSSAIN, Syed Bilal *et al.* Índices de maturidade e métodos de colheita para frutas cítricas. *In*: **Produção de Citrinos**. 1ª Edição ed. *[S.l.: S.n.]*. p. 8.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos/ coordenadores Odair Zenebon. Neus Sadocco Pascuet, Paulo Tiglea.** 4. ed. São Paulo, SP, Brazil: NIT/IAL, 2008.

IQBAL, Nadeem; POÓR, Péter. Plant Protection by Tannins Depends on Defence-Related Phytohormones. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 44, n. 1, p. 22–39, 1 jan. 2025.

KHAN, Ahmad Sattar *et al.* Preharvest Factors That Influence Postharvest Losses of Citrus Fruits. *In*: **Citrus Production**. 1. ed. *[S.l.: S.n.]*.

KHAN, Ahmad Sattar *et al.* Postharvest Physiology of Citrus Fruit. *In*: **Citrus Production**. *[S.l.]*: CRC Press, 2022b.

KLUGE, Ricardo *et al.* Danos de frio e qualidade de frutas cítricas tratadas termicamente e armazenadas sob refrigeração. **Revista Brasileira De Fruticultura - REV BRAS FRUTIC**, v. 29, 1 ago. 2007.

KNOPP, Glauco da Costa; SOARES, Edna Lisboa Aparecida. Estética e Desperdício de Alimentos: Compreendendo as preferências e as escolhas dos consumidores de frutas, legumes e verduras. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 3, p. e11713345365–e11713345365, 29 mar. 2024.

KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS, INC. **Compreendendo o Espaço de Cor CIE L*C*h**. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/compreendendo-o-espaco-de-cor-cie-lch/>. Acesso em: 8 abr. 2025.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Econômica, 1948.

KORKINA, L. G. Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants: From plant defense to human health. **Cellular and Molecular Biology**, v. 53, n. 1, p. 15–25, 15 abr. 2007.

KOU, Xiaohong *et al.* Different regulatory mechanisms of plant hormones in the ripening of climacteric and non-climacteric fruits: a review. **Plant Molecular Biology**, v. 107, n. 6, p. 477–497, 1 dez. 2021.

KUMAR PATEL, Manish *et al.* Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens. **Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens.**, v. 9, n. 5, p. 646, 2020.

LA CAMERA, Sylvain *et al.* Metabolic reprogramming in plant innate immunity: the contributions of phenylpropanoid and oxylipin pathways. **Immunological Reviews**, v. 198, p. 267–284, abr. 2004.

LADANIYA, Milind. Chapter 16 - Postharvest disease management with fungicides. *In*: LADANIYA, Milind (Org.). **Citrus Fruit (Second Edition).** 2. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2022a. p. 563–594.

LADANIYA, Milind. Chapter 9 - Preparation for the fresh fruit market. *In*: LADANIYA, Milind (Org.). **Citrus Fruit (Second Edition)**. *[S.l.]*: Academic Press, 2022b. p. 299–377.

LADANIYA, Milind. Chapter 4 - Preharvest factors. *In*: LADANIYA, Milind (Org.). **Citrus Fruit (Second Edition)**. *[S.l.]*: Academic Press, 2022c. p. 113–144.

LADANIYA, Milind. Chapter 12 - Storage systems and response of citrus fruits. *In*: LADANIYA, Milind (Org.). **Citrus Fruit (Second Edition).** 2. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2022d. p. 443-493.

LADANIYA, Milind. Chapter 3 - Postharvest losses. *In*: LADANIYA, Milind. (Org.). **Citrus Fruit (Second Edition).** 2. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2022e. p. 93-112.

LAGO, Rafael Carvalho do *et al.* **MODELO PREDITIVO DE ACEITAÇÃO SENSORIAL E PADRÃO MÍNIMO DE QUALIDADE PARA LARANJA 'PERA RIO'**. UFLA, , 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/29153>

LI, Zhonghai *et al.* EFFECT OF CHITOSAN AND CACL2 ON SENESCENCE AND MEMBRANE LIPID PEROXIDATION OF POSTHARVEST KUMQUAT FRUITS. **Acta Horticulturae**, n. 769, p. 259–264, jun. 2008.

LISBOA, Antonio Marcos Gomes *et al.* Revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita da laranja 'Natal CNPMF 112'. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, p. 329–342, 20 mar. 2023.

LITWACK, Gerald. Chapter 13 - Metabolism of Amino Acids. *In*: LITWACK, Gerald (Org.). **Human Biochemistry**. Boston: Academic Press, 2018. p. 359–394.

LIU, Zhaoguo *et al.* Phenylalanine enhances the efficiency of sodium dehydroacetate to control citrus fruit decay by stimulating reactive oxygen metabolism and phenylpropanoid pathway. **Postharvest Biology and Technology**, v. 222, p. 113392, 1 abr. 2025.

LUFU, Robert; AMBAW, Alemayehu; OPARA, Umezuruike Linus. Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109519, 15 out. 2020.

LUMIVERO. **XLSTAT | Software Estatístico para Excel.** Disponível em: <https://www.xlstat.com/>. Acesso em: 17 jun. 2025.

LV, Xinmiao *et al.* Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provide benefits for human health. **Chemistry Central Journal**, v. 9, p. 68, 24 dez. 2015.

MAEDA, Hiroshi; DUDAREVA, Natalia. The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, n. Volume 63, 2012, p. 73–105, 2 jun. 2012.

MALGARIM, Marcelo Barbosa; CANTILLANO, Rufino Fernando Flores; TREPTOW, Rosa de Oliveira. Armazenamento refrigerado de laranjas cv. Navelina em diferentes concentrações de cera à base de carnaúba. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 99–105, 20 ago. 2007.

MAMARI, Hamad H. Al. Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis. *In*: **Phenolic Compounds - Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications**. *[S.l.]*: IntechOpen, 2021.

MAPA. **CultivarWeb - Registro Nacional de Cultivares - RNC.** Disponível em: <https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MELO, C. L. *et al.* Aplicação de Recobrimento de Fécula de Batata para a Conservação de Tomates. **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 119–128, 2016.

MELO, Jardel de Mesquita. **Qualidade e compostos bioativos de cultivares de laranjas e tangerinas introduzidas no território da borborema paraibano.** TCC— Areia, PB, Brazil: Universidade Federal da Paraíba, 19 jul. 2021.

MENEZES, J. L. R. *et al.* **Relação entre perda de massa e açúcares totais em mamões armazenados em diferentes condições.** Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2021/trabalhos/10/24184-15703.html>. Acesso em: 27 maio. 2025.

MIERZIAK, Justyna; KOSTYN, Kamil; KULMA, Anna. Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment. **Molecules**, v. 19, n. 10, p. 16240–16265, out. 2014.

MINITAB. **Minitab Statistical Software: Data Analysis, Statistical Software. Versão 18. State College, PA: Minitab, LLC, 2017.** Disponível em: <https://www.minitab.com>. Acesso em: 24 mar. 2025.

MORENO-ESCAMILLA, Jesús O. *et al.* Chapter 3 - Effect of Elicitors in the Nutritional and Sensorial Quality of Fruits and Vegetables. *In*: SIDDIQUI, Mohammed Wasim (Org.). **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**. 1. ed. San Diego, USA: Academic Press, 2018. p. 71–91.

MÜLLER, M. G. *et al.* On the properties and application of beeswax, carnauba wax and palm fat mixtures for hot melt coating in fluidized beds. **Advanced Powder Technology**, v. 29, n. 3, p. 781–788, 1 mar. 2018.

MULTARI, Salvatore *et al.* Monitoring the changes in phenolic compounds and carotenoids occurring during fruit development in the tissues of four citrus fruits. **Food Research International (Ottawa, Ont.)**, v. 134, p. 109228, ago. 2020.

NASCIMENTO, Fernanda Varela; BENDER, Renan João. Capítulo 14. Colheita e pós-colheita. *In*: **Citricultura do Rio Grande do Sul: indicações técnicas.** 1. ed. Porto Alegre, RS, Brazil: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação - SEAPI; DDPA, 2018. p. 235–243.

NELSON, N. A. Photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. v. 153, p. 375–380, 1944.

NEVES, Mariana; CORREIA, Sandra; CANHOTO, Jorge. Etileno. **Revista de Ciência Elementar**, v. 12, n. 2, 2024.

NING, Yuese; LIU, Wende; WANG, Guo-Liang. Balancing Immunity and Yield in Crop Plants. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 12, p. 1069–1079, 1 dez. 2017.

NTP. **National Toxicology Program, Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health (NTP). 1992. National Toxicology Program Chemical Repository Database. Research Triangle Park, North Carolina.** Disponível em: <https://ntpsearch.niehs.nih.gov/?query=phenylalanine>. Acesso em: 12 mar. 2025.

NUNES, Cecilia do Nascimento. Reducing Food Waste: A Global Challenge. *In*: **Reducing food waste: a global challenge. Cultures Magazine: American Society of Microbiology.** Maryland, USA: CPS Communication Production Services, Inc., 2015. v. 2 p. 28–39.

OLIVEIRA, Roberto Pedroso de *et al.* **"Westin", Laranjeira produtiva de meia-estação e dupla finalidade.** Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052769/1/Folderwestin.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

OLIVEIRA, Roberto P. *et al.* **Cultivares de citros recomendadas pela Embrapa Clima Temperado para o Rio Grande do Sul em 2014**. , 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052695/1/VersaoatualizadaDocumento399.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025

PACHECO, Camilla de Andrade *et al.* Qualidade pós-colheita de um híbrido do tipo Ponkan de maturação tardia. **Qualidade pós-colheita de um híbrido do tipo Ponkan de maturação tardia**, v. 34, n. 2, p. 39–45, 2013.

PASSOS, Orlando Sampaio *et al.* **Laranjeira "Westin CNPMF": nova opção para a citricultura de mesa**. , 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/655317/1/FolderWestin.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025

PINTO, Marcio dos Santos Teixeira; RIBEIRO, Juliana Martins; OLIVEIRA, Eduardo Alves Gamosa de. O estudo de genes e proteínas de defesa em plantas. **O estudo de genes e proteínas de defesa em plantas.**, v. 9, n. 2, p. 241–248, 2011.

PUBCHEM. **Phenylalanine**. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6140>. Acesso em: 12 mar. 2025.

RÊGO, Elizanilda Ramalho do *et al.* **Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças.** 1. ed. João Pessoa, PB, Brazil: Editora UFPB, 2023.

RITENOUR, Mark A. Orange. *In*: **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks (Agriculture Handbook No. 66).** Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 2016. p. 441–446.

RIZZO, Matteo *et al.* Fruit ripeness classification: A survey. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 7, p. 44–57, 1 mar. 2023.

ROUSSOS, Peter A. Laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *In*: SIMMONDS, Monique S. J.; PREEDY, Victor R. (Orgs.). **Nutritional Composition of Fruit Cultivars**. San Diego: Academic Press, 2016. p. 469–496.

SAIDI, Lilah *et al.* Elicitation of fruit defense response by active edible coatings embedded with phenylalanine to improve quality and storability of avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 174, p. 111442, 1 abr. 2021.

SALCEDO CEDENO, Francisco José. **Influência de cinco porta-enxertos na intensidade de stem pitting de tristeza, no vigor e na produtividade da laranjeira \'Westin\', Citrus sinensis (L.) Osbeck**. text—*[S.l.]*: Universidade de São Paulo, 31 maio 1984.

SALTVEIT, Mikal E. Respiratory Metabolism. *In*: **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks (Agriculture Handbook No. 66).** Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 2016. p. 68–75.

SCHWARZ, Sergio Francisco; SOUZA, Elisabeth L. de S.; OLIVEIRA, Roberto Pedroso de. Capítulo 4. Características das variedades copa. *In*: **Citricultura do Rio Grande do Sul: indicações técnicas.** 1. ed. Porto Alegre, RS, Brazil: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação - SEAPI; DDPA, 2018. p. 61-78.

SDIRI, Sawsen *et al.* Phenolic composition, organic acids, sugars, vitamin C and antioxidant activity in the juice of two new triploid late-season mandarins. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 462–468, 1 nov. 2012.

SEMCO. **Informações sobre o resfriamento e armazenamento pós-colheita da laranja**. Disponível em: <https://semcoice.com/post-harvest-cooling-storage-facts-oranges/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SENAR. **Fruticultura: colheita, pós colheita e comercialização**. 2. ed. Brasília, DF: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)., 2017.

SIMS, Daniel; GAMON, John. Relationships Between Leaf Pigment Content and Spectral Reflectance Across a Wide Range of Species, Leaf Structures and Developmental Stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337–354, 1 ago. 2002.

SIQUEIRA, Dalmo Lopes de; SALOMÃO, Luiz Carlos C. **Citros do Plantio à Colheita.** 1. ed. Viçosa, MG, Brazil: Editora UFV, 2017.

SOLANKI, Manoj Kumar *et al.* From orchard to table: Significance of fruit microbiota in postharvest diseases management of citrus fruits. **Food Control**, v. 165, p. 110698, 1 nov. 2024.

SPADARO, Davide; DROBY, Samir. Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. **Trends in Food Science & Technology.**, v. 47, p. 39–49, 1 jan. 2016.

STABLE MICRO SYSTEMS LTD. **75mm Compression Platen.** Disponível em: <https://www.stablemicrosystems.com/texture-analysis/probes/75mm-compression-platen/>. Acesso em: 8 abr. 2025a.

STABLE MICRO SYSTEMS LTD. **Análise de textura de frutas e vegetais.** Disponível em: <https://www.stablemicrosystems.com/FruitAndVegetableTesting.html>. Acesso em: 8 abr. 2025b.

SUN, Tianhu *et al.* Carotenoid Metabolism in Plants: The Role of Plastids. **Molecular Plant**, v. 11, n. 1, p. 58–74, 8 jan. 2018.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of Prunus pérsica domestic: the quantitative analysis of phenolic constituents. v. 10, p. 63–68, 1959.

SYSTAT SOFTWARE INC. **SigmaPlot.** Disponível em: <https://sigmaplot.softonic.com.br>. Acesso em: 24 mar. 2025.

TANAKA, Yoshikazu; SASAKI, Nobuhiro; OHMIYA, Akemi. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. **The Plant Journal**, v. 54, n. 4, p. 733–749, 1 maio 2008.

TERAO, Daniel *et al.* **Métodos de controle alternativo do bolor-verde em laranja.** 1. ed. Jaguariúna, SP, Brazil: Embrapa Meio Ambiente, 2020.

TRIPATHI, Diwaker; RAIKHY, Gaurav; KUMAR, Dhirendra. Chemical elicitors of systemic acquired resistance—Salicylic acid and its functional analogs. **Current Plant Biology**, Plant-Pathogen Interactions and their Control: Conventional vs. Modern Approach. v. 17, p. 48–59, 1 jan. 2019.

USDA. **Citrus: World Markets and Trade.** Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/citrus-world-markets-and-trade-01302025>. Acesso em: 20 mar. 2025.

VANETTEN, Hans D. *et al.* Two Classes of Plant Antibiotics: Phytoalexins versus “Phytoanticipins”. **The Plant Cell**, v. 6, n. 9, p. 1191–1192, 1994.

VIDAL, Maria de Fátima. Citricultura (Laranja): v. 9, n. 328, março, 2024. **Caderno Setorial ETENE**, v. 9, p. 13, 19 abr. 2024.

VOLPE, Clovis Alberto; SCHÖFFEL, Edgar Ricardo; BARBOSA, José Carlos. Influence of the accumulated heat unit and rainfall on the ratio and technological index of sweet oranges “Valência” and “Natal”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 436–441, ago. 2002.

WANG, Ruyi; WANG, Guo-Liang; NING, Yuese. PALs: Emerging Key Players in Broad-Spectrum Disease Resistance. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 9, p. 785–787, 1 set. 2019.

WARPEHA, Katherine M. Recent Advances in Seedling Research: Phenylalanine and Phenylalanine Ammonia-Lyase (PAL). *In*: LÜTTGE, Ulrich *et al.* (Orgs.). **Progress in Botany Vol. 85**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 139–166.

WCO. **Citrus Market Trends.** Disponível em: <https://worldcitrusorganisation.org/facts-and-figures/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

WISNIEWSKI, Michael *et al.* Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity. **Postharvest Biology and Technology**, Alternatives to the use of synthetic fungicides for the control of postharvest decay of fruit and vegetables: current status and future perspectives. v. 122, p. 3–10, 1 dez. 2016.

YIN, Tuo *et al.* Comparative analysis of the PAL gene family in nine citruses provides new insights into the stress resistance mechanism of Citrus species. **BMC Genomics**, v. 25, n. 1, p. 1020, 31 out. 2024.

ZADOKS, J. C. On the Conceptual Basis of Crop Loss Assessment: The Threshold Theory. **Annual Review of Phytopathology**, v. 23, n. Volume 23, p. 455–473, 1 set. 1985.

ZHANG, Hongyin *et al.* Augmentation of biocontrol agents with physical methods against postharvest diseases of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology.**, v. 69, p. 36–45, 1 set. 2017.

ZHOU, Mian; WANG, Wei. Recent Advances in Synthetic Chemical Inducers of Plant Immunity. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1613, 2018.