



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS**

VALDECIR ANDRÉ KIRCH

**APLICAÇÃO DE CÁLCIO NA PRÉ-COLHEITA E IMPACTO NA FIRMEZA
DA POLPA DE MAÇÃS: UMA META-ANÁLISE**

**PETROLINA - PE
2025**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

VALDECIR ANDRÉ KIRCH

**APLICAÇÃO DE CÁLCIO NA PRÉ-COLHEITA E IMPACTO NA FIRMEZA
DA POLPA DE MAÇÃS: UMA META-ANÁLISE**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação *Lato sensu* em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: (Dr^a. **Andréa Nunes Moreira de Carvalho**) Coorientador: (Dr. **Cícero Antônio de Sousa Araújo**)

**PETROLINA - PE
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K58 Kirch, Valdecir André.

Aplicação de cálcio na pré-colheita e impacto na firmeza da polpa de maçãs: uma meta-análise / Valdecir André Kirch. - Petrolina, 2025.
30 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Andréa Nunes Moreira de Carvalho.

Coorientação: Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo.

1. Pós-colheita. 2. Malus domestica. 3. Pulverização foliar de cálcio. 4. Qualidade de frutas. I. Título.

CDD 631.56



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

A monografia “Aplicação de cálcio na pré-colheita e impacto na firmeza da polpa de maçãs: uma meta-análise”, autoria de **Valdecir André Kirch**, foi submetida à Banca Examinadora, constituída pelo IFSertãoPE, como requisito parcial necessário à obtenção do título de Especialista em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, outorgado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IFSertãoPE.

Aprovado em 21 de fevereiro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **ANDREA NUNES MOREIRA DE CARVALHO**
Data: 21/02/2025 15:56:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Andréa Nunes Moreira de Carvalho – IFSertãoPE
(Presidente – Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **GILBERTO SARAIVA TAVARES FILHO**
Data: 21/02/2025 16:05:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Gilberto Saraiva Tavares Filho –
UFPE (1º Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **ALINE ROCHA**
Data: 22/02/2025 10:03:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Aline Rocha – IFSertãoPE
(2ª Examinadora)

Documento assinado digitalmente
 **JANE OLIVEIRA PEREZ**
Data: 21/02/2025 16:00:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Jane Oliveira Perez – IFSertãoPE
(3ª Examinadora)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
	REFERÊNCIAS.....	22
	APÊNDICE A	27
	APÊNDICE B	28
	APÊNDICE C	29
	APÊNDICE D	30

APLICAÇÃO DE CÁLCIO E A PÓS-COLHEITA DE MAÇÃS: UMA META-ANÁLISE

RESUMO

Este estudo investigou a influência da pulverização de diferentes fontes de cálcio sobre a firmeza de maçãs em pós-colheita, utilizando uma abordagem de meta-análise para integrar dados de múltiplos estudos científicos. A metodologia adotada incluiu a seleção criteriosa de 35 conjuntos de dados extraídos de 12 artigos, aplicando o modelo de efeitos aleatórios para estimar a influência global do cálcio na firmeza dos frutos. A aplicação de cálcio na pré-colheita é fundamental para preservar a qualidade das maçãs, melhorando a firmeza da polpa, reduzindo o amolecimento e prolongando a vida útil dos frutos durante o armazenamento. Estudos demonstram que o cálcio estabiliza a parede celular, inibe enzimas degradativas e reduz a incidência de distúrbios fisiológicos. Os resultados indicaram que a aplicação de cloreto de cálcio (CaCl_2) na pré-colheita demonstrou benefícios indiretos com a mitigação de distúrbios de armazenamento, redução a perda acentuada da firmeza, enquanto o óxido de cálcio (CaO) não apresentou efeitos significativos. A análise ainda revelou alta heterogeneidade entre os estudos, sugerindo que fatores como cultivar, dose e condições ambientais podem influenciar a eficácia do tratamento. A aplicação de cálcio pode ser uma estratégia promissora para reduzir perdas pós-colheita e manter a qualidade dos frutos, mas sua efetividade depende de um manejo nutricional adequado e de investigações mais detalhadas sobre sua interação com outros fatores fisiológicos e ambientais.

Palavras-Chave: *Malus domestica*. Pulverização foliar de cálcio. Qualidade de frutas.

ABSTRACT

This study investigated the influence of spraying different calcium sources on the postharvest firmness of apples, using a meta-analysis approach to integrate data from multiple scientific studies. The methodology included a rigorous selection of 35 datasets extracted from 12 articles, applying a random-effects model to estimate the overall influence of calcium on fruit firmness. Preharvest calcium application is essential for preserving apple quality, improving pulp firmness, reducing softening, and extending fruit shelf life during storage. Studies show that calcium stabilizes cell walls, inhibits degradative enzymes, and reduces the incidence of physiological disorders. The results indicated that preharvest calcium chloride (CaCl_2) application demonstrated indirect benefits by mitigating storage disorders and reducing significant firmness loss, while calcium oxide (CaO) showed no significant effects. The analysis also revealed high heterogeneity among studies, suggesting that factors such as cultivar, dosage, and environmental conditions may influence treatment efficacy. Calcium application could be a promising strategy to reduce postharvest losses and maintain fruit quality, but its effectiveness depends on proper nutritional management and further research on its interaction with other physiological and environmental factors.

Key words: *Malus domestica*. Calcium foliar spray. Fruit quality.

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um setor estratégico para a economia global, pois contribui para a segurança alimentar e é uma importante fonte de renda para agricultores. Entre as culturas de maior relevância, a macieira (*Malus domestica* Borkh.) se destaca como uma das frutas mais cultivadas no mundo. Em 2022 a produção global de frutas atingiu cerca de 933 milhões de toneladas (FAO, 2024), evidenciando sua expressiva importância comercial e nutricional. Já a produção brasileira de frutas no ano de 2023 foi de 43.040.561 toneladas, segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2025), estabelecendo o País como o terceiro maior produtor de frutas do mundo (FAO, 2024). Enquanto que a produção brasileira de maçãs atingiu em 2023, um montante de 1.103.794 toneladas (ABRAFRUTAS, 2025).

No Brasil, os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina destacam-se como principais polos de produção comercial de maçãs, com cultivares amplamente cultivadas, como 'Gala', 'Fuji' e 'Golden Delicious' (ASGHARZADE; VALIZADE; BABAEIAN, 2012). A qualidade pós-colheita desempenha um papel crucial na competitividade do setor, uma vez que distúrbios fisiológicos, como o "Bitter pit" (BP), comprometem a vida útil dos frutos e reduzem seu valor de mercado (FREITAS; MITCHAM, 2012), podendo ocasionar perdas em pós-colheita de até 30% (BASSO, 2002). Na literatura clássica, o "Bitter pit" está frequentemente associado à deficiência de cálcio (Ca) em frutos de maçãs (SMOCK; VAN DOREN, 1937; VAN STUIVENBERG; POWWER, 1950; YAMAZAKI; NIIZUMA; TAGUCHI, 1968; FERGUSON; REID; PRASAD, 1979).

No entanto, estes desafios podem ser superados, especialmente no que tange à tecnificação e adoção de práticas mais eficientes visando condições mais específicas do manejo do pomar; como a aplicação equilibrada de cálcio, o monitoramento nutricional das plantas, o raleio excessivo de frutos, o controle do vigor das plantas, a adubação excessiva de N e a deficiência hídrica (SAURE, 2005).

De forma que as condicionantes propiciadas as plantas desde o desenvolvimento até a colheita das frutas refletem-se no momento pós-colheita da produção frutícola, que, na ausência de condições adequadas, produzem uma série de prejuízos financeiros além de implicar nas oportunidades de comercialização dada

a qualidade dos frutos fertados. No caso do "bitter pit", não somente a qualidade e o valor comercial da maçã é afetada, mas o maior acúmulo de ácidos orgânicos durante o armazenamento do fruto provoca alterações no sabor e na aparência da polpa da fruta (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001). Assim, num contexto em que o manejo pós-colheita engloba um conjunto de práticas essenciais para preservar a qualidade dos frutos, reduzindo perdas e mantendo atributos desejáveis para o consumo e comercialização, a aplicação de cálcio na fase de pré-colheita desempenha um papel fundamental, pois influencia diretamente a textura, resistência mecânica e vida útil dos frutos, contribuindo para sua conservação durante o armazenamento e transporte.

A adoção de tecnologias pós-colheita pela cadeia produtiva requer a superação de alguns desafios, que muito além da cooperação entre os diferentes entes da cadeia produtiva e da capacitação destes, engloba ainda a colaboração entre o poder público e o privado, com o intuito de criar estratégias, programas governamentais e, principalmente, investimento em pesquisa científica. Pesquisa esta que é capaz de elucidar a relação existente entre os nutrientes minerais no momento da pré-colheita e o condicionamento que estes proporcionam diante dos atributos de qualidade pós-colheita das frutas como a cor, textura, aroma, açúcar e acidez (CANTILLANO et al., 2003).

O armazenamento refrigerado ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$ e 70-80% de umidade relativa) é uma prática amplamente adotada para estender a vida útil das maçãs. No entanto, mesmo sob condições controladas, ocorrem alterações físico-químicas, como a redução da acidez, dos sólidos solúveis totais (TSS) e da firmeza dos frutos (BANOO; DOLKAR; ALI, 2018).

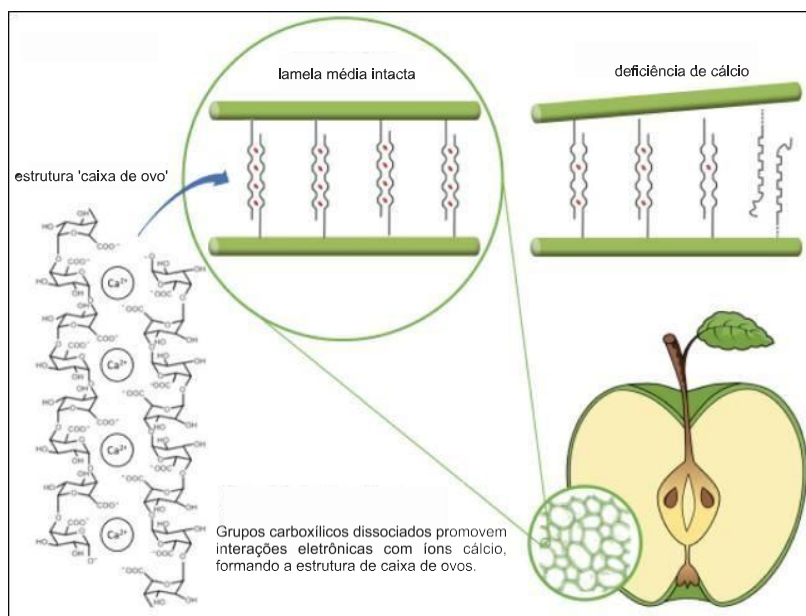
A firmeza, um dos principais parâmetros para a aceitação do consumidor, está diretamente associada à integridade da parede celular, sendo influenciada pela atividade de enzimas hidrolíticas, como a poligalacturonase, e pela homeostase do cálcio nos tecidos (KONOPACKA; PLOCHARSKI, 2002; CONWAY; SAMS; HICKEY, 2002).

Pesquisas indicam que a aplicação de cálcio, tanto na fase de pré-colheita quanto na pós-colheita, contribui para mitigar esses efeitos, retardando a degradação da parede celular e prolongando a qualidade comercial dos frutos (GHAFIR et al., 2009). Neste sentido, a deficiência e o excesso nos teores de determinados nutrientes influenciam na fisiologia dos vegetais e na disponibilidade de outros nutrientes. Sabe-

se que o cálcio possui relação direta com as transformações dos tecidos das frutas (amaciamento) bem como com os componentes químicos das paredes celulares (FERREIRA et al, 2013).

Os grupos carboxílicos ácidos ligados ao cálcio formam o pectato de cálcio - que é insolúvel predominante em frutas imaturas (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O cálcio ainda participa de diversos processos metabólicos (senescência, abscisão, funcionamento de membranas), além de atuar na regulação enzimática (ATPase, alfa amilase, fosfolipase, nucleases e poligalacturonase) (LI et al., 2009). Assim, por ser um macronutriente associado à estrutura, regulação da parede celular e manutenção da membrana plasmática (BEZERRA, 2020), é responsável pela estabilidade estrutural fisiológica dos tecidos das plantas (Figura 1).

Figura 1 - Desenho esquemático do modelo “caixa de ovo” representando o papel que o cálcio desempenha na estabilidade da lamela média e a ocorrência de distúrbios decorrentes da deficiência de cálcio.



Fonte: Adaptado de TORRES; KALCSITS; NIETO, 2024.

No caso dos frutos, a determinação da qualidade destes na pós-colheita, com o aumento no período de armazenamento, está intimamente relacionada à ação do cálcio, que dentre os vários benefícios, pode reduzir o amolecimento e a senescência destes (GAYED et al., 2017), além da manutenção da integridade da parede celular, enquanto barreira física, o cálcio é de fundamental importância pois regula ainda os processos de permeabilidade dos tecidos e células (PRADO, 2020).

O cálcio, dada a sua importância enquanto nutriente constituinte da estrutura dos polissacarídeos que fornecem resistência à parede celular, (Taiz e Zeiger, 2009), requer do manejo da fertilidade das plantas uma atenção especial, pois pode resultar em frutas mais resistentes ao transporte e com maior período para a comercialização. A atenção no manejo da adubação com cálcio justifica-se dadas as interações entre cálcio e boro que impedem o aparecimento da deficiência nutricional desses elementos em órgãos mais novos. Ambos apresentam forte interação com o solo, e o conteúdo de cálcio diminui quando há excesso de boro no solo, enquanto o baixo teor de cálcio causa deficiências de boro (MALAVOLTA, 1980). Além disso, a deficiência de boro acarreta diminuição do teor de cálcio na folha, afetando a sua absorção e translocação na planta (YAMAUCHI et al., 1986; PENALOSA; ZORNOZA; CARPENA, 1987; FAGERIA, 2001).

O suprimento adequado de cálcio para as plantas é essencial para o desenvolvimento normal de frutos e sementes (WOODS, 1994; MARSCHNER, 1995), sendo que o desenvolvimento de pesquisas corrobora com a evidência do aumento nas margens de respostas dose-erro com base na recomendação de respostas dose-efetuadas. O cálcio (Ca^{2+}) é um nutriente essencial para o desenvolvimento estrutural das plantas, desempenhando um papel fundamental na estabilidade das membranas celulares, na integridade da parede celular e na regulação de processos metabólicos (WHITE; BROADLEY, 2003).

Objetiva-se com a realização do presente estudo meta-analítico investigar os efeitos da pulverização foliar de cálcio na pré-colheita sobre as características físicas, especificamente a firmeza de polpa no período pós-colheita de maçãs. Assim deverá ser possível por meio da integração de dados de múltiplos estudos científicos a obtenção do impacto que a pulverização de fontes de cálcio em pré-colheita exerce sobre a firmeza de maçãs em pós-colheita. A partir da qual poderão ser traçadas estratégias para otimizar o manejo nutricional na fruticultura visando a minimização dos efeitos da redução da firmeza de polpa de maçã em pós-colheita.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi do tipo revisão bibliográfica sistemática (SAMPAIO; MANCINI, 2007) que estruturou-se nas seguintes etapas, seguindo o proposto por

Silva e Martins-Reis (2016), sendo i) Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; ii) Definição das informações a serem extraídas de estudos selecionados, utilizando o termo booleano e; iii) Categorização dos estudos, interpretação dos resultados e apresentação da síntese/conhecimento.

Foram obtidos trinta e cinco conjuntos de dados provenientes de doze artigos científicos distintos, de forma que dois ou mais estudos podem ter origem num mesmo artigo científico; desde que as fontes de cálcio e as demais premissas objeto da presente meta análise sejam contempladas.

As buscas foram realizadas nas bases de dados Scopus, Web of Science, Science Direct e Google Acadêmico, buscando identificar somente artigos científicos; sendo descartados as demais publicações que eventualmente abordassem o tema. Como critérios de pesquisa foram utilizadas as seguintes palavras-chave: "CaCl₂", "CaO", "Ca(NO₃)₂", "CaCO₃", "calcium", "pre-harvest", "post-harvest", "Malus", "firmness", "cálcio", "pré-colheita", "pós-colheita", "Malus" e "firmeza". Somente foram abarcados no presente trabalho os estudos cujos tratamentos empregados tivessem como fonte de cálcio originada única e exclusivamente a pulverização foliar; CaCl₂, CaO, Ca(NO₃)₂, CaCO₃. Do mesmo modo, somente foram selecionados estudos que avaliaram a firmeza de polpadas frutas após um período de armazenamento mínimo de 5 dias. Em alguns estudos, os dados de firmeza estavam expressos em forma de tabelas, enquanto que em outros os dados estavam inseridos em gráficos/figuras. Nesses últimos, os valores de firmeza foram extraídos das figuras com o auxílio do software Foxit PDF Reader (FOXIT, 2024).

A relação dos conjuntos de dados e os seus respectivos autores está eluciada na Tabela 1, que contém uma lista dos artigos selecionados e do número de conjuntos de dados extraído de cada estudo.

Neste estudo, buscamos compreender o impacto da pulverização de cálcio na firmeza de maçãs de diferentes cultivares, utilizando uma meta-análise para integrar os resultados de pesquisas anteriores. O objetivo foi identificar o efeito global desse tratamento sobre a firmeza dos frutos, com base no cálculo da média ponderada dos efeitos observados em cada estudo analisado. Para essa estimativa, aplicamos o modelo de efeitos aleatórios, conforme descrito por Hedges e Olkin (1985), que considera não apenas o erro amostral, mas também outras fontes de variação devido

à diversidade de populações envolvidas.

Tabela 1 – Estudos selecionados para a meta-análise e número de conjunto de dados de cada artigo.

Autores	Número de conjunto de dados
Acevedo-Barrera et al. (2019)	4
Brackmann et al. (2010)	3
Dris et al. (2000)	3
Ghorbani et al. (2021)	4
Farag e Nagy (2012)	2
Khakpour et al. (2022)	3
Lötze e Hoffman (2015)	2
Omaima et al. (2007)	4
Sharma, Singh e Pal (2013)	1
Soppelsa et al. (2020)	1
Torres et al. (2017)	5
Zahid et al. (2024)	3

Fonte: O autor, 2025.

O modelo de efeitos aleatórios presume que os estudos incluídos não representam uma única população homogênea, mas sim um conjunto de populações distintas. Dessa forma, não há um único efeito verdadeiro, e sim uma distribuição de efeitos globais, como apontado por Borenstein et al. (2011). Para o cálculo da variância dessa distribuição, optamos pelo algoritmo de DerSimonian-Laird, amplamente empregado em meta-análises, conforme descrito por Veroniki et al. (2016).

A síntese dos resultados dos diferentes estudos em um único valor quantitativo é o objetivo central da meta-análise. No entanto, essa conclusão precisa ser estatisticamente consistente, o que requer um nível adequado de homogeneidade entre os estudos. Mesmo que o efeito global seja pequeno, a presença de estudos com resultados discrepantes “*outliers*” pode influenciar significativamente as conclusões.

A heterogeneidade dos estudos foi avaliada por meio do índice I^2 , que representa a percentagem de variabilidade entre os estudos não explicada pelo acaso, seguindo as diretrizes de Higgins et al. (2003). Valores inferiores a 25% indicam baixa heterogeneidade, entre 25% e 75% são considerados moderados, e acima de 75% indicam uma heterogeneidade elevada. Diante de uma elevada heterogeneidade, é

comum empregar procedimentos para identificar e excluir outliers, conforme sugerem Viechtbauer e Cheung (2010). No presente estudo, consideramos como “*outliers*” os estudos cujos intervalos de confiança de 95% não se sobrepõem ao intervalo de confiança global, indicando efeitos extremamente pequenos ou excessivamente grandes.

Por fim, analisamos a influência individual das diferentes fontes de cálcio sobre o efeito global observado destes estudos. Quando da investigação dos grupos de fontes de cálcio sobre o efeito de tamanho global, identificaram-se ; CaCl_2 - e CaO uma vez que as fontes de cálcio (CaCO_3) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, apresentaram somente 1 e 5 conjuntos de dados respectivamente, o que inviabiliza a realização do teste de Eggers. De sorte que estas fontes de cálcio foram sumariamente excluídas da presente investigação.

Este estudo fornece uma base consistente para futuras pesquisas, destacando a importância de se investigar os fatores que contribuem para a variabilidade observada na resposta da firmeza das maçãs ao tratamento com cálcio.

Os procedimentos de cálculos e diagramas da meta-análise foram obtidos com o software livre R e os pacotes Meta, Shiny e Metafor (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a remoção de “*outliers*” usando os critérios descritos previamente, são descritos o tamanho de efeito do conjunto amostrado correspondente a variável firmeza da polpa para os frutos de maçã em pós-colheita. Como resultado, de acordo com os critérios empregados, restaram trinta e dois conjuntos de dados obtidos a partir de doze estudos.

A diferença média estimada com base no modelo de efeitos aleatórios foi de $= 0,1206$ (IC de 95%: 0,0446 a 0,1966), conforme pode ser observado na figura 2. Ao se considerarem todos os 32 conjuntos de dados incluídos na análise, o efeito global (efeito de tamanho) da adição de fontes de cálcio implica na redução da perda de firmeza de polpa de frutos da cultura da maçã na ordem de até $0,12 \text{ kgf cm}^{-2}$ ao longo do período de pós-colheita.

Ainda, a análise realizada usando a diferença média como medida de resultado sob um modelo de efeitos aleatórios global revelou por meio do estimador

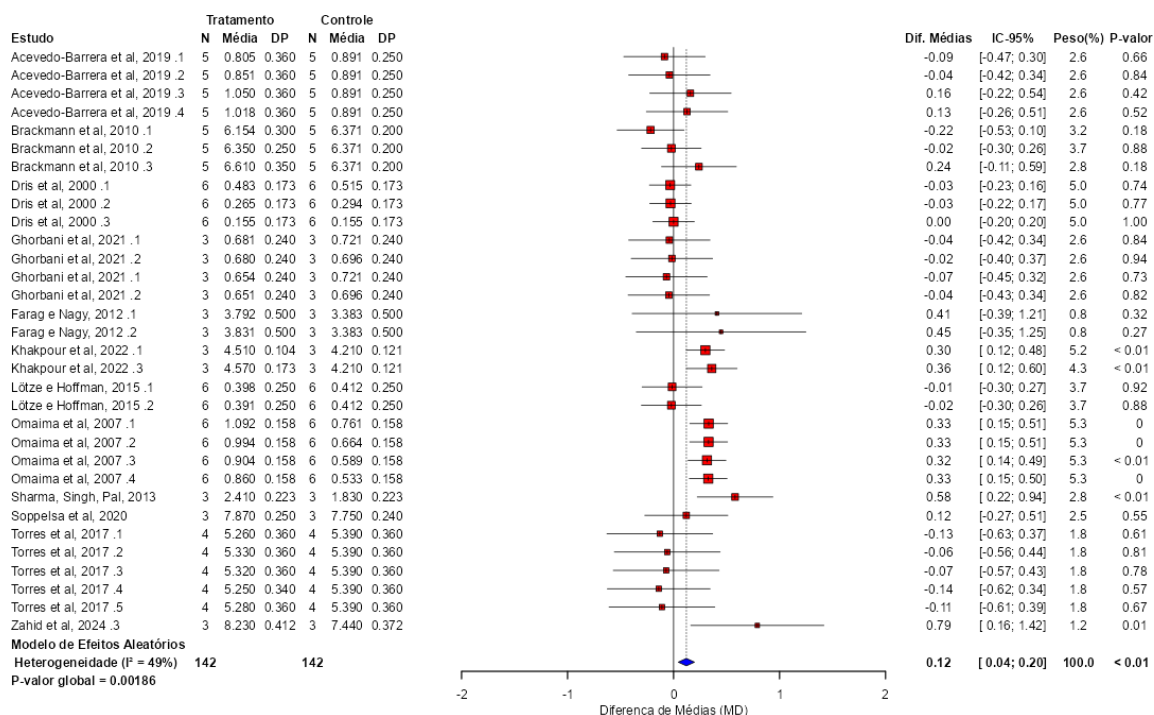
DerSimonian-Laird (Dersimonian 1986), uma heterogeneidade moderada (τ^2 e I^2) respectivamente de 0,0203 e 49% (p-valor de 0,0011), resultados estes que expressam a moderada variabilidade (heterogeneidade) dos estudos; sejam pela dosagem das fontes de cálcio, concentração de fontes de cálcio, diferentes fracionamentos das pulverizações das fontes de cálcio, diferentes variedades de maçã envolvidas, distintas temperaturas e principalmente período de armazenamento pós-colheita. Razão pela qual os estudos apresentam tamanha diversidade nas diferenças médias entre seus respectivos tratamentos.

Os resultados obtidos decorrem da heterogeneidade do conjunto de dados, esse que representa um valor médio geral (efeito agregado de todos os estudos), dependente das cultivares de maçã, da dose aplicada ou do momento de aplicação bem como das fontes de cálcio investigadas. Assim, os pesos atribuídos aos estudos individuais são diluídos entre os estudos no modelo de efeitos aleatórios (SCHWARZER; CARPENTER & RÜCKER, 2015), mas mesmo que seja observada uma heterogeneidade moderada entre os diferentes estudos, esta não prosperou nem impôs limites à robustez estatística dos efeitos globais obtidos, exigindo-se sim cautela na interpretação dos resultados em razão das variáveis moderadoras envolvidas, tais como cultivares, temperatura e período de armazenamento bem como as doses e fontes de cálcio empregadas.

Ensejam este cuidado pois ensaios conduzidos com diferentes cultivares de macieira demonstram que a aplicação de cálcio (Ca) na fase de pré-colheita melhora significativamente a qualidade dos frutos durante o armazenamento. Isto porque o cálcio (Ca^{2+}) desempenha funções essenciais como regulador estrutural e metabólico, estabilizando membranas celulares e reduzindo a degradação da pectina por meio da modulação enzimática (BANGERTH et al., 1972). Frutos com baixos teores de cálcio são mais propensos ao amolecimento e a distúrbios fisiológicos, como o bitter pit, que resulta da desorganização da lamela média (FREITAS et al., 2010). Estudos com a cultivar 'Golden Smoothee' indicam que a aplicação de CaCl_2 em seis pulverizações resultou em maior firmeza da polpa e redução da incidência de bitter pit, conforme evidenciado por Ghorbani, Fallahi, Bakhshi e Rabiei (2021). Resultados semelhantes foram observados nas cultivares 'Fuji' e 'Gala', reforçando a relevância desse manejo na fruticultura comercial (ACEVEDO-BARRERA et al., 2019). Torres et al. (2017) analisaram estratégias combinadas de aplicação de cálcio para mitigar o *bitter pit* em maçãs 'Golden Delicious'. Dentre os resultados que os autores obtiveram, está

a prevalência no quesito eficiência, das pulverizações de CaCl_2 foliares sobre as aplicações via solo, na redução da desordem fisiológica (*bitter pit*). Demonstraram ainda os autores que a frequência e o momento das pulverizações são fatores determinantes na eficácia do manejo, uma vez que a aplicação de treze pulverizações mostrou tendência de maior eficiência, ante o regime de sete pulverizações.

Figura 2 – Gráfico de floresta obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, representando o efeito global da aplicação via foliar de diferentes fontes de cálcio em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã.



Fonte: O autor, 2025.

O efeito global das diferenças de médias obtidas no presente estudo, apontam que a pulverização via foliar com fontes de cálcio são cruciais para melhorar a firmeza, reduzir perdas de massa e prevenir distúrbios fisiológicos em maçãs.

Avaliando a influência do número de aplicações de CaCl_2 na qualidade pós-colheita, Brackmann et al. (2010) verificaram que pulverizações sucessivas aumentaram a firmeza da polpa e reduziram a incidência de podridões em maçãs ‘Fuji’ armazenadas por 9,5 meses em atmosfera controlada. Ainda segundo os autores, a manutenção da firmeza da polpa foi atribuída ao efeito estabilizador do cálcio sobre a parede celular, destacando seu papel fundamental na conservação da qualidade pós-colheita.

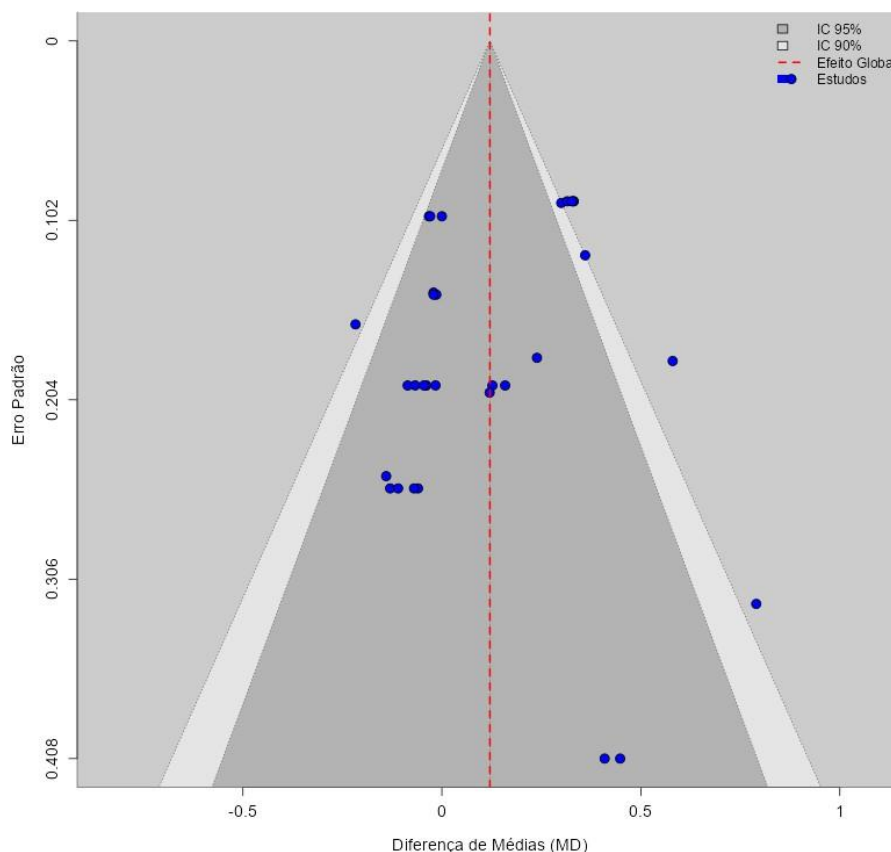
Diante destes achados, a adubação com cálcio na pré-colheita emerge como uma prática essencial para a manutenção da qualidade das maçãs durante o armazenamento. O sucesso desse manejo depende da escolha da cultivar, do número de aplicações e da interação com fatores ambientais, evidenciando a necessidade de um planejamento técnico detalhado para maximizar seus benefícios na produção comercial. Em maçãs 'Golden Smoothee', seis aplicações de CaCl_2 a 0,15% reduziram significativamente a incidência de bitter pit e preservaram a firmeza dos frutos após quatro meses de armazenamento (CASERO, BENAVIDES & RECASENS, 2009). A eficácia dessas aplicações varia conforme o estágio fenológico, sendo que pulverizações realizadas 42 dias após a floração demonstram maior eficiência do que aplicações precoces (YAMANE, 2014).

A eficácia dessas aplicações depende também do estágio de desenvolvimento do fruto e das condições do binômio tempo e temperatura de armazenamento, destacando a necessidade de estratégias do número de aplicações e especialmente no emprego da fonte de cálcio adequada. Brackmann et al. (2010) evidenciaram que o aumento no número de aplicações reduziu a produção de etileno e elevou o teor de sólidos solúveis, sem impacto significativo na taxa respiratória e na acidez titulável dos frutos.

Brackmann et al., (2010) atribuíram esse efeito ao papel do cálcio na estabilização da parede celular, onde o nutriente forma ligações entre as pectinas, promovendo maior rigidez e retardando a degradação enzimática durante o amadurecimento. Esse efeito pode ser atribuído ao papel do cálcio na estabilização das lamelas médias e paredes celulares, através da formação de pontes de cálcio entre os grupos carboxila das moléculas de pectina.

A distribuição simétrica das diferenças médias e os seus respectivos erro padrão ao longo do eixo do efeito global, sob a área do gráfico de funil (figura 3) em relação ao efeito global indicam um baixo viés no conjunto de dados como um todo, confirmado através do Teste de viés de publicação (Egger), valor-p: 0,6029 o que não denota nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0.05$), no que tange ao aspecto que os conjuntos de dados empregados são representativos de todos os estudos conduzidos, e assim não distorcem as conclusões gerais, tampouco podem induzir a decisões equivocadas de manejo.

Figura 3 – Gráfico de funil obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, aportando a aplicação via foliar de diferentes fontes de cálcio em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã, demonstrando a não ocorrência de viés de publicação entre os conjuntos de dados utilizados no estudo da meta-análise.

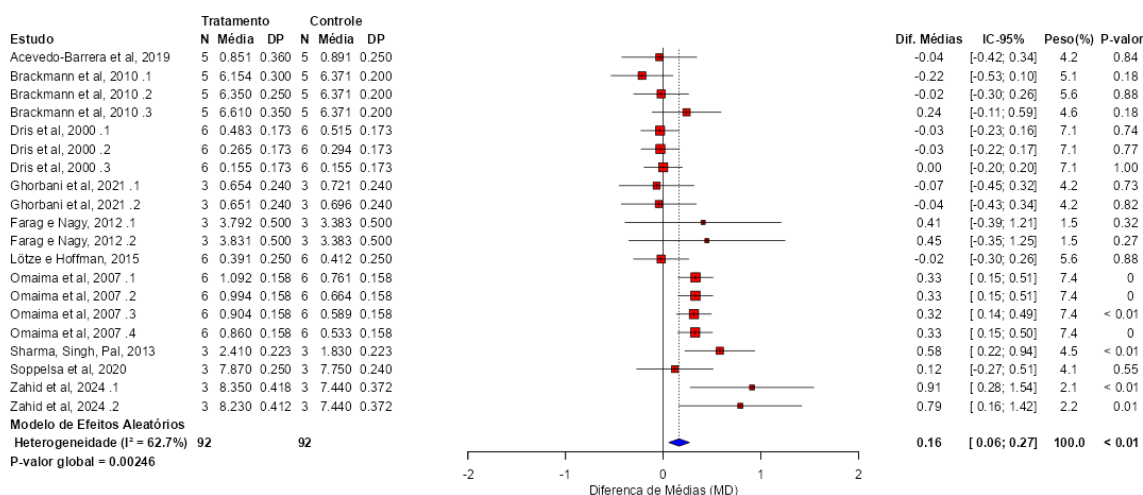


Fonte: O autor, 2025.

A avaliação da diferença média como medida de resultado sob um modelo de efeitos aleatórios para o subgrupo do efeito de cloreto de cálcio - CaCl_2 (Figura 4), produzida a partir de um total de 20 estudos (conjunto de dados extraído do conjunto original), estimou um acréscimo na firmeza de polpa de maçãs em pós-colheita de $0,1633 \text{ Kgf.cm}^{-2}$ (IC de 95% compreendido entre $0,0576$ e $0,2690 \text{ Kgf.cm}^{-2}$), no efeito do tratamento com CaCl_2 em relação ao controle. Sendo que o resultado médio diferiu significativamente de zero ($p = 0,0025$).

Ainda, quando testada a heterogeneidade, o referido subgrupo de tratamentos (CaCl_2) apresentou resultados que contemplam uma heterogeneidade moderada, $p < 0,0001$, $\tau^2 = 0,0355$, $I^2 = 62,7\%$).

Figura 4 - Gráfico de floresta obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, representando o efeito global da aplicação via foliar de cloreto de cálcio (CaCl_2) em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã.



Fonte: O autor, 2025.

A pulverização foliar com cloreto de cálcio (CaCl_2) é a estratégia mais amplamente utilizada para elevar os níveis desse nutriente nos frutos. Estudos indicam que aplicações iniciadas 60 dias após a floração, com intervalos de 7 a 15 dias, podem aumentar a concentração de cálcio na polpa em até 48% (CASERO, BENAVIDES & RECASENS, 2009).

A pulverização pré-colheita com CaCl_2 aumenta a concentração de Ca^{2+} nos tecidos vegetais, retardando a senescência e contribuindo para a manutenção da firmeza pós-colheita (MAHMUD et al., 2008; KADIR, 2005). Estudos mais recentes reforçam que a aplicação de cálcio antes da colheita reduz a degradação da parede celular, prolongando a conservação da firmeza dos frutos (WOOD et al., 2024).

Estudos indicam que pulverizações foliares com cloreto de cálcio (CaCl_2) são uma estratégia eficaz para manter a firmeza dos frutos durante o armazenamento (AMARANTE et al., 2018). Casero, Benavides e Recasens (2009) observaram que aplicações de CaCl_2 em maçãs ‘Golden Smoothie’ elevaram os teores de cálcio nos tecidos, reduziram a incidência de bitter pit e melhoraram a firmeza dos frutos durante o armazenamento refrigerado. Essa relação positiva entre cálcio e firmeza tem sido amplamente demonstrada em diversos estudos, reforçando a importância de aplicações regulares desse nutriente na fase de pré-colheita para garantir a qualidade e longevidade dos frutos.

O cálcio (Ca^{2+}) é um nutriente essencial para as plantas, desempenhando funções estruturais e regulatórias. Em maçãs, sua presença fortalece a parede celular ao formar pontes com grupos carboxílicos de poligalacturonatos, estabilizando a matriz de pectinas e inibindo a ação de enzimas hidrolíticas responsáveis pelo amolecimento dos frutos (SIDDIQUI; BANGERTH, 1995). Além disso, o cálcio atua na sinalização celular, modulando respostas a estresses ambientais e regulando a homeostase iônica, garantindo o equilíbrio fisiológico da planta (WHITE; BROADLEY, 2003).

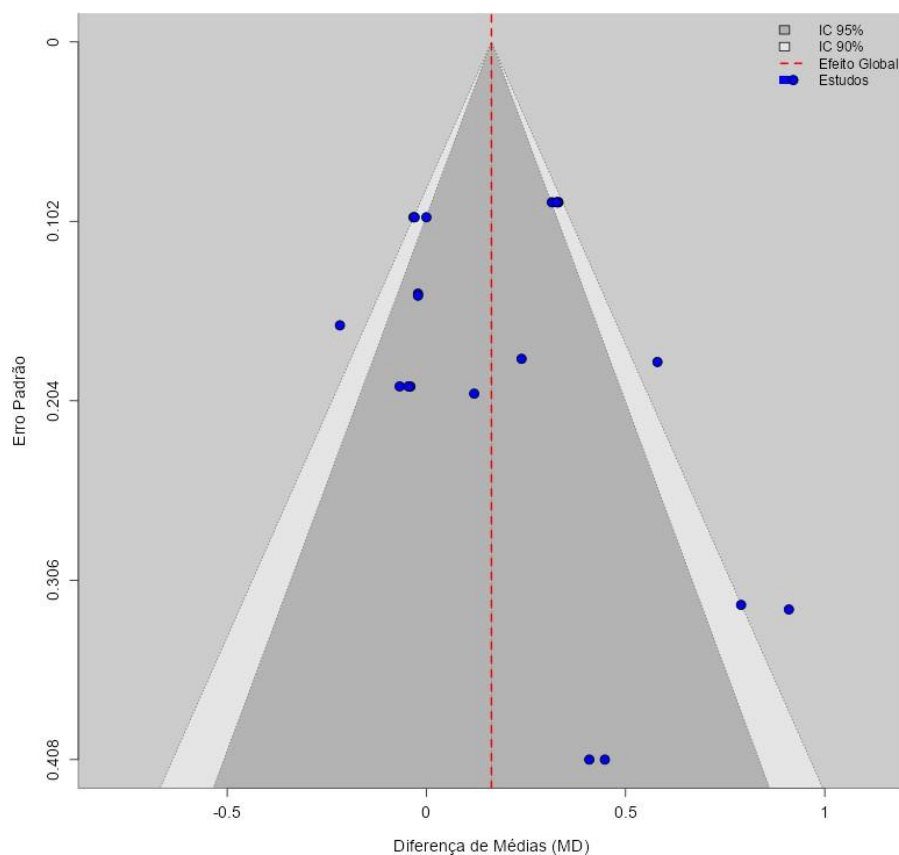
Considerando o modelo de efeitos aleatórios para o subgrupo CaCl_2 , a distribuição simétrica das diferenças médias e os seus respectivos erros padrão ao longo do eixo do efeito global, sob a área do gráfico de funil (Figura 5) em relação ao efeito global indicam um baixo viés no conjunto de dados como um todo, confirmado através do Teste de viés de publicação (Egger), valor-p: 0,4311 o que não denota nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0,05$), no que tange ao aspecto que os conjuntos de dados empregados são representativos de todos os estudos conduzidos, e assim não distorcem as conclusões gerais, tampouco podem induzir a decisões equivocadas de manejo.

A meta-análise do subgrupo CaO considerando todos os 8 conjuntos de dados incluídos na análise, resulta num tamanho de efeito em que a utilização de CaO como fonte de cálcio não implica na redução da perda de firmeza de polpa de frutos da cultura da maçã ao longo do período de pós-colheita, cujos valores médios obtidos não diferiram estatisticamente de 0 quando submetidos à testes estatísticos a um nível de significância de 95% (alfa 0,05), conforme elucidado na Figura 6.

O cálcio (Ca) é um nutriente essencial para a manutenção da integridade estrutural dos frutos, desempenhando um papel fundamental na coesão da pectina e na estabilidade das membranas celulares. Sua deficiência pode levar ao surgimento de desordens fisiológicas, comprometendo a qualidade dos frutos durante o armazenamento e reduzindo sua vida útil (SOLHJOO et al., 2017).

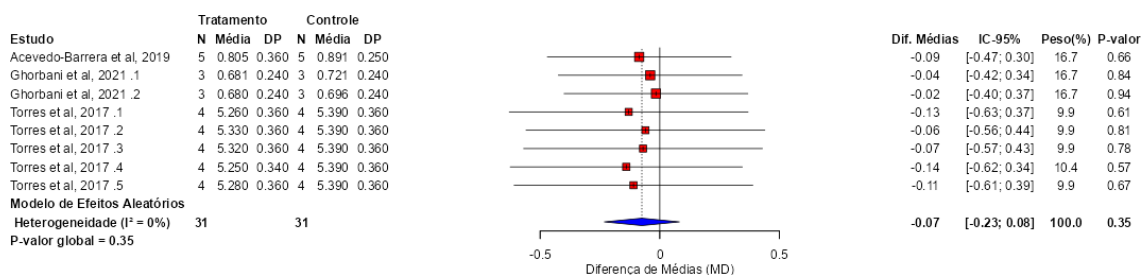
Além disso, pesquisas recentes indicam que o cálcio exerce influência direta na regulação de enzimas responsáveis pela degradação da parede celular, retardando o processo de amolecimento dos frutos e contribuindo para a preservação da textura e firmeza durante o armazenamento pós-colheita (MOHEBBI et al., 2020).

Figura 5 – Gráfico de funil obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, aportando a aplicação via foliar de cloreto de cálcio (CaCl_2) em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã, demonstrando a não ocorrência de viés de publicação entre os conjuntos de dados utilizados no estudo da meta-análise.



Fonte: O autor, 2025.

Figura 6 – Gráfico de floresta obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, representando o efeito global da aplicação via foliar de óxido de cálcio (CaO) em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã.



Fonte: O autor, 2025.

No trabalho seminal de Acevedo-Barrera et al. (2019), que investigou o impacto de diferentes fontes de cálcio na qualidade pós-colheita de maçãs, observou-se que

o óxido de cálcio (CaO) exibiu um desempenho moderado na manutenção da firmeza dos frutos, enquanto o cloreto de cálcio (CaCl_2) apresentou resultados mais robustos, ainda que com desafios operacionais. Essa diferença, segundo os autores pode estar associada à baixa solubilidade do CaO em água, que reduz sua eficiência de absorção foliar e, conseqüentemente, sua disponibilidade para atuar no fortalecimento da parede celular – um fator crítico para a firmeza dos frutos durante o armazenamento. No entanto, os autores destacam um trade-off importante: em concentrações elevadas, o CaCl_2 pode induzir fitotoxicidade, como necrose foliar, exigindo aplicações criteriosas para evitar prejuízos ao pomar. Além disso, embora seja amplamente utilizado na pós-colheita por sua capacidade de prolongar a vida útil dos frutos, seu custo elevado e riscos agrônômicos limitam sua adoção em larga escala, especialmente em sistemas de produção que priorizam sustentabilidade e custo-benefício.

O estudo desenvolvido por Ghorbani et al. (2021) traz contribuições relevantes para a dinâmica da nutrição cálcica em pomares de maçã, particularmente no que tange aos efeitos do óxido de cálcio (CaO), em que pese o comportamento quando não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na firmeza dos frutos tratados com CaO em relação ao controle. Resultados e devem-se a dois fatores principais: (i) a menor solubilidade do CaO em meio aquoso, que limita sua absorção foliar e posterior translocação para os frutos, (GHORBANI et al., 2021) e (ii) a necessidade de transformação química para formas iônicas (Ca^{2+}) biologicamente disponíveis, processo que depende de condições edafoclimáticas específicas (DRIS et al., 2000). Observaram ainda Dris et al., (2000) que condições climáticas específicas, como a baixa taxa de transpiração, esta condição pode ser um fator limitante para o fluxo de cálcio via xilema e a posterior translocação do cálcio para os órgãos de reserva (frutos), especialmente para fontes de cálcio com CaO .

O desempenho superior do cloreto de cálcio (CaCl_2) está diretamente relacionado à sua maior solubilidade em comparação ao carbonato de cálcio (CaCO_3), característica que compartilha com o nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), conforme relatado por Schönherr (2001). O cálcio desempenha um papel fundamental na estruturação da matriz de pectina da parede celular, retardando o processo de amolecimento dos frutos. Estudos realizados com a cultivar 'Red Jonaprince' demonstraram que pulverizações pré-floração com CaCl_2 aumentaram a firmeza da polpa em 12% em

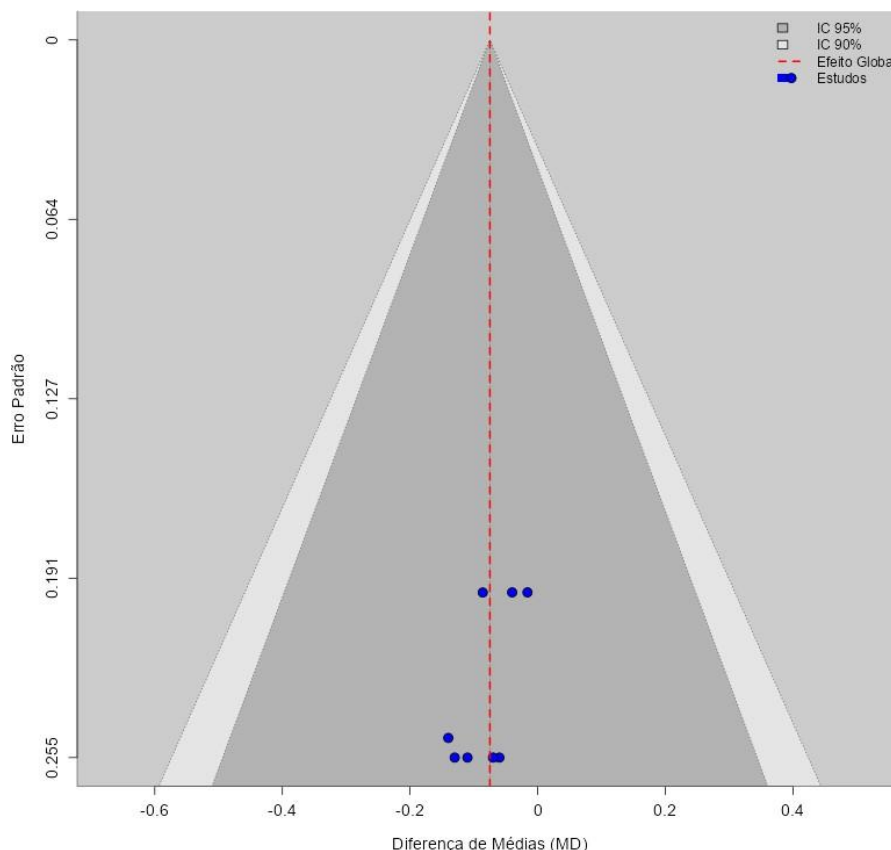
relação ao controle (WÓJCIK, SKORUPIŃSKA; GUBBUK, 2016). Já na cultivar 'Sheikh Amir', a aplicação de CaCl_2 a 0,5% resultou em um incremento de 24,3% na firmeza (ASGHARZADE, VALIZADE; BABAEIAN, 2012). Entretanto, a eficiência do cálcio pode ser reduzida em frutos com alto teor de potássio, devido ao antagonismo entre esses elementos, o que pode explicar a variabilidade observada nos diferentes estudos (DILMAGHANI et al., 2005).

A análise realizada utilizando os efeitos aleatórios para o subgrupo CaO permitiram aferir que a distribuição simétrica das diferenças médias e os seus respectivos erros padrão ao longo do eixo do efeito global, de um total de 8 estudos que foram incluídos na análise, sob a área do gráfico de funil (Figura 7), não apresentam viés de publicação. Não se observaram indicativos de assimetria do gráfico de funil pois observa-se que não há conjuntos de dados que não estejam sob a área do *funnel plot*, confirmado através do Teste de viés de publicação (Egger), valor-p: 0.8769 o que não denota nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0,05$), no que tange ao aspecto que os conjuntos de dados empregados são representativos de todos os estudos conduzidos, e assim não distorcem as conclusões gerais, tampouco podem induzir a decisões equivocadas de manejo.

O cálcio (Ca) é um nutriente essencial para a integridade estrutural dos frutos, desempenhando um papel fundamental na estabilização das paredes celulares e membranas. Sua deficiência pode resultar no colapso celular, ativação de enzimas como a lipoxigenase (LOX) e aumento da permeabilidade das membranas, tornando os frutos mais suscetíveis ao desenvolvimento de distúrbios fisiológicos como o Bitter Pit (JEMRIĆ et al., 2016).

A absorção de cálcio ocorre predominantemente via xilema durante as fases iniciais do desenvolvimento do fruto, porém seu transporte torna-se limitado nas fases finais de crescimento, devido à baixa mobilidade desse elemento dentro da planta (SAURE, 2005). Esse fator reforça a importância das aplicações foliares ou suplementações no solo para garantir a adequada distribuição de cálcio nos tecidos e minimizar problemas de qualidade pós- colheita.

Figura 7 – Gráfico de funil obtido após a remoção dos “outliers” considerando o modelo de efeitos aleatórios globais, aportando a aplicação via foliar de óxido de cálcio (CaO) em pré-colheita sobre os valores médios de firmeza em pós-colheita em maçã, demonstrando a não ocorrência de viés de publicação entre os conjuntos de dados utilizados no estudo da meta-análise.



Fonte: O autor, 2025.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação pré-colheita de cálcio é uma ferramenta essencial para mitigar distúrbios pós-colheita e manter a firmeza de maçãs. Contudo, sua eficácia depende de ajustes precisos no momento da aplicação, formulação e manejo nutricional integrado, especialmente das interações entre cálcio e outros minerais. A aplicação de cálcio em pré-colheita é determinante para preservar a firmeza e qualidade de maçãs, com benefícios comprovados na redução de distúrbios fisiológicos e perdas pós-colheita a fim de prolongar sua vida útil durante o período pós-colheita. O uso adequado desse nutriente contribui para a redução de perdas, manutenção da qualidade e aumento da competitividade do setor frutícola. Estudos futuros devem explorar novas tecnologias de aplicação e modificadores com outros nutrientes para potencializar ainda mais os benefícios do cálcio na fruticultura.

Dentre as fontes de cálcio aplicadas via pulverização em pré-colheita, o cloreto de cálcio representa a estratégia mais eficiente para manter a firmeza das maçãs no período pós-colheita. A sua efetividade depende exclusivamente, num primeiro momento da sua elevada solubilidade em relação às demais fontes investigadas nesta meta-análise. No entanto, de maneira oposta não foram obtidos resultados significativos capazes de demonstrar a interferência da aplicação de óxido de cálcio (CaO) sobre a perda de firmeza de polpa em pós-colheita de maçãs.

Futuras pesquisas devem explorar outras abordagens, a saber; temperaturas de acondicionamento, período de acondicionamento, fracionamento (número de aplicações) de fontes de cálcio, além do comportamento particular das diferentes variedades de maçãs que porventura possam ser investigadas, a fim de otimizar a absorção e distribuição desse nutriente nas plantas.

REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. Disponível em: <https://abrafrutas.org/paineis-de-producao/>. Acesso em: 03 mai. 2024.
- ACEVEDO-BARRERA, A. A.; SOTO PARRA, J.M.; YAÑEZ-MUÑOZ, R. M.; SANCHEZ, E.; PEREZ-LEAL, R. Natural sources of spraying to preserve apple fruit quality during post-harvest. **Notulae Botanicae Horti Cluj-NapocaAgrobotanici**, v. 47, p. 1136- 1144, 2019.
- AMARANTE, C. V. T.; KATSURAYAMA, J. M.; PEREIRA, A. J.; STEFFENS, C. A. Apple orchard spraying with commercial sources of calcium to improve fruit quality. **Acta Horticulturae**, n. 1275, p. 201-206, 2018.
- ASGHARZADE, A.; VALIZADE, G.A.; BABAEIAN, M. Effect of Calcium Chloride (CaCl₂) on some quality characteristic of apple fruits in Shirvan region. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 9, p. 2000-2003, 2012.
- BANOO, A.; DOLKAR, T.; ALI, M. Role of physical and chemical performance during storage of apple cultivar. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 1332-1338, 2018.
- BASSO, C. Distúrbios fisiológicos. In: **A cultura da macieira**. Florianópolis: EPAGRI, 2002. p.609-636.
- BEZERRA, S. R. B. Produção, qualidade e teores de nutrientes em sementes de alface com aplicação de cálcio e boro via foliar. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 57 f., 2020.
- BORENSTEIN, M.; HEDGES, L. V.; HIGGINS, J. P. T.; ROTHSTEIN, H.R. **Introduction to meta-analysis**. John Wiley & Sons, 2009. 421p.

- BRACKMANN, A.; WEBER, M.R.; PINTO, J.A.V.; VENTURINI, T.L. Aplicações pré-colheita de cálcio na qualidade pós-colheita de maçãs 'Fuji'. **Ciência Rural**, v.40, n. 6, p. 1435-1438, 2010.
- CANTILLANO, F.F.; MARTINS, C.R.; MADAIL, J.C.M.; FORTES, J.F.; REICHERT, L.J.; LAGOS, L.L.; BENDER, R.J. Morango Pós-Colheita. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 36 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 318).
- CASERO, T.; BENAVIDES, A.L.; RECASENS, I. Interrelation between fruit mineral content and pre-harvest calcium treatments on 'Golden Smoothee' apple quality. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 27-37, 2009.
- CHITARRA, M. I. F. CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.
- CONWAY, W. S.; SAMS, C.E.; HICKEY, K.D. Pre- and postharvest calcium treatment of apple fruit and its effect on quality. **Acta Horticulturae**, v. 594, p. 413-419, 2002.
- DRIS, R.; NISKANEN, R.; EL ASSI, N. Effect of CaCl₂ sprays, heat, and combined CaCl₂-heat treatments on the quality of apples (*Malus domestica* Borkh.) **Journal of Applied Horticulture**, v. 2, n. 2, p. 79-83, 2000.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, **New York**, v. 24, p.1269-1290, 2001.
- FAO. Faostat. 2024. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 03 mai. 2024.
- FERGUSON, I.; REID, M.; PRASAD, M. Calcium analysis and the prediction of bitter pit in apple fruit. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 22, p. 485-490, 1979.
- FERREIRA, L. V.; COCCO, C.; GONÇALVES, M. A.; DE CARVALHO, S. F.; PICOLOTTO, L.; MONTE, F.; ANTUNES, L.E.C.; CANTILLANO, R. F.F. Efeito da aplicação de cálcio e boro em pré-colheita na qualidade pós-colheita de amoreira-preta 'tupy'. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 14, n. 1, p. 53- 58, 2013.
- FOXIT. FOXIT PDF READER. Foxit Software Incorporated. Versão 2024.4.0.27683. 2024. Disponível em: <http://www.foxit.com/>. Acesso em: 03 mai. 2024.
- FREITAS, S. T.; AMARANTE, C.V.T.; LABAVITCH, J.M.; MITCHAM, E.J. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 57, p. 6-13, 2010.
- FREITAS, S. T.; MITCHAM, E. J. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. **Horticultural Reviews**, v. 40, p. 107-146, 2012.
- GAYED, A. A. N. A.; SHAARAWI, S. A. M. A.; ELKHISHEN, M. A.; ELSHERBINI, N. R. M. Pre-harvest application of calcium chloride and chitosan on fruit quality and storability of 'Early Swelling' peach during cold storage and shelf-life. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 220-231, 2017.
- GHAIR, S. A. M.; GADALLA, S. O.; MURAJEI, B. N.; EL-NADY, M. Physiological and anatomical comparison between four different apple cultivars under cold storage conditions. **Acta Biologica**, v. 53, n. 1, p. 21-26, 2009.

GHORBANI, E.; FALLAHI, E.; BAKHSHI, D.; RABIEI, B. Influence of different calcium compounds and fruit development stages on yield, fruit quality and shelf life of 'granny smith' apples. **Agricultural Research & Technology**, v. 25, n. 3, p. 141-156, 2021.

HEDGES, L. V.; OLKIN, I. **Statistical methods for meta-analyses**. London: Academic Press, 1st Ed. 369p. 1985.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S.G.; DEEKS, J.J.; ALTMAN, D.G.. Measuring inconsistency in meta-analyses. **British Medical Journal**, v. 327, p. 557-560, 2003.

IUCHI, V.L.; NAVA, G.; IUCHI, T. Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira Florianópolis: Epagri, 2001. 74p.

JAMOVİ. The jamovi project. (Version 2.6) [Computer Software]. 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 03 mai. 2024.

JEMRIĆ, T. ; FRUK, I.; FRUK, M.; RADMAN, S.; SINKOVIČ, L.; FRUK, G. Bitter pit in apples: pre- and postharvest factors: A review. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 4, p. e08R01, 2016.

KADIR, S. A. Influence of pre harvest calcium application on storage quality of Jonathan apple in Kansas. **Transactions of the Kansas Academy of Science**, v. 118, p. 129-136, 2005.

KONOPACKA, D.; PLOCHARSKI, W. J. Effect of picking maturity, storage technology and shelf-life on changes of apple firmness of Elstar, Jonagold and Gloster cultivars. **Journal of Fruit Ornamental Plant Resistance**, v. 10, p. 11-22, 2002.

LI, SHI-WENG; XUE, LINGUI; XU, SHIJIAN; FENG, HUYUAN; AN, LIZHE. Mediators, genes and signaling in adventitious rooting. **The Botanical Review**, v. 75, p. 230-247, 2009.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London, Elsevier, 2012. 651p.

MOHEBBI, S.; BABALAR, M.; ZAMANI, Z.; ASKARI, M. A. Influence of early season boron spraying and postharvest calcium dip treatment on cell-wall degrading enzymes and fruit firmness in 'Starking Delicious' apple during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 259, p. 1-8, 2020.

PENALOSA, J. M.; ZORNOZA, P.; CARPENA, O. Estudios de las deficiencias de boro y manganeso en plantas de tomate. **Anales de Edafología y Agrobiología**, v. 56, p. 749-58, 1987.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. 2ed. São Paulo: UNESP, 2020. 416p.

R CORE TEAM. R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.4) [Computer software]. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org>. Acesso em: 03 mai 2024.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit: Its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, v. 105, p. 65-89, 2005.

SCHÖNHERR, J. Cuticular penetration of calcium salts: Effects of humidity, anions,

and adjuvants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, p. 225-231, 2001.

SCHWARZER, G.; CARPENTER, J. R.; RÜCKER, G. **Meta-analysis with R**. Springer, 252p. 2015.

SIDDIQUI, S.; BANGERTH, F. Effect of pre-harvest application of calcium on flesh firmness and cell-wall composition of apples – influence of fruit size. **Journal of Horticultural Science**, v. 70, p. 263-269, 1995.

SMOCK, R. M.; VAN DOREN, A. The histology of bitter pit in apples. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 35, p. 176–179, 1937.

SOLHJOO, S.; GHARAGHANI, A.; FALLAHI, E. Calcium and potassium foliar sprays affect fruit skin color, quality attributes, and mineral nutrient concentrations of ‘red delicious’ apples. **International Journal of Fruit Science**, v. 17, n. 4, p. 358-373, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, 848p, 2009.

TORRES, E.; KALCSITS, L.; NIETO, L. G. Is calcium deficiency the real cause of bitter pit? A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1-14, 2024.

TORRES, E.; RECASENS, I.; LORDAN, J.; ALEGRE, S. Combination of strategies to supply calcium and reduce bitter pit in ‘Golden Delicious’ apples. **Scientia Horticulturae**, v. 217, p. 179-188, 2017.

VAN STUIVENBERG, J.; POWWER, A. Is bitter pit in apples caused by a disturbance in the growth-substance balance? **Fruiteelt**, v. 40, p. 150–151, 1950.

VERONIKI, A. A.; JACKSON, D.; VIECHTBAUER, W.; BENDER, R.; BOWDEN, J.; KNAPP, G.; KUSS, O.; HIGGINS, J. PT.; LANGAN, D.; SALANTI, G. Methods to estimate the between-study variance and its uncertainty in meta-analysis. **Research Synthesis Methods**, v. 7, n. 1, p. 55-79, 2016.

VIECHTBAUER, W.; CHEUNG, M. W-L. Outlier and influence diagnostics for metaanalysis. **Research Synthesis Methods**, v. 1, n. 2, p. 112-125, 2010.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487-511, 2003.

WÓJCIK, P.; SKORUPIŃSKA, A.; GUBBUK, H. Impacts of pre- and postbloom sprays of tryptophan on calcium distribution within ‘Red Jonaprince’ apple trees and on fruit quality. **HortScience**, v. 51, n. 12, p. 1511-1516, 2016.

WOOD, R. M.; DE FREITAS, S. T.; ARGENTA, L. C.; NEUWALD, D. A. Influence of pre-harvest calcium application on the concentration and distribution of ascorbic acid and mineral content in apple cultivars at harvest and during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 214, p. 1-11, 2024.

WOODS, W. G. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. **Environmental Health Perspectives**, v.102, n.7, p.5-11, 1994.

YAMANE, T. Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees. **JARQ**, v. 48, n. 1, p. 29-33, 2014.

YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONIDA, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. **Plant and Cell Physiology**, v.27, p.729-732, 1986.

YAMAZAKI, T.; NIIZUMA, T.; TAGUCHI, T. Studies on the soil fertility of apple orchard. II Relation between the occurrence of bitter pit and the soil cations. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 37, p. 185–191, 1968.

APÊNDICE A – META - ANÁLISE GLOBAL

Resultados Meta-Análise

Number of studies: $k = 32$

Number of observations: $o = 284$ ($o.e = 142$, $o.c = 142$)

	MD	95%-CI	z	p-value
Random effects model	0.1206	[0.0446; 0.1966]	3.11	0.0019

Quantifying heterogeneity (with 95%-CIs):

$\tau^2 = 0.0203$ [0.0000; 0.0550]; $\tau = 0.1425$ [0.0000; 0.2344]

$I^2 = 49.0\%$ [23.1%; 66.1%]; $H = 1.40$ [1.14; 1.72]

Test of heterogeneity:

Q	d.f.	p-value
60.74	31	0.0011

Details of meta-analysis methods:

- Inverse variance method
- DerSimonian-Laird estimator for τ^2
- Jackson method for confidence interval of τ^2 and τ
- Calculation of I^2 based on Q

=== ESTATÍSTICAS DE HETEROGENEIDADE === τ^2 :

0.0203

τ : 0.1425

I^2 : 0.5

H^2 : 1.4

Q: 60.74

Valor-p (Q): 0.0011031

=== TESTE DE VIÉS DE PUBLICAÇÃO ===

Intercepto: NA

Erro padrão: NA

Valor-t: -

0.5203

Valor-p: 0.6029

Resultado: Nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0.05$)

APÊNDICE B – META - ANÁLISE CaCl₂-

Resultados Meta-Análise

Number of studies: k = 20

Number of observations: o = 184 (o.e = 92, o.c = 92)

	MD	95%-CI	z	p-value
Random effects model	0.1633	[0.0576; 0.2690]	3.03	0.0025

Quantifying heterogeneity (with 95%-CIs):

$\tau^2 = 0.0312$ [0.0097; 0.1168]; $\tau = 0.1765$ [0.0983; 0.3418]

$I^2 = 62.7\%$ [39.5%; 76.9%]; $H = 1.64$ [1.29; 2.08]

Test of heterogeneity: Q

d.f.	p-value
50.89	19 < 0.0001

Details of meta-analysis methods:

- Inverse variance method
- DerSimonian-Laird estimator for τ^2
- Jackson method for confidence interval of τ^2 and τ
- Calculation of I^2 based on Q

=== ESTATÍSTICAS DE HETEROGENEIDADE === τ^2 :

0.0312

Tau: 0.1765

I^2 : 0.6

H^2 : 1.64

Q: 50.89

Valor-p (Q): 9.68e-05

=== TESTE DE VIÉS DE PUBLICAÇÃO ===

Intercepto: NA

Erro padrão: NA

Valor-t: 0.7874

Valor-p: 0.4311

Resultado: Nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0.05$)

APÊNDICE C – META - ANÁLISE CaO

Resultados Meta-Análise

Number of studies: $k = 8$

Number of observations: $o = 62$ ($o.e = 31$, $o.c = 31$)

	MD	95%-CI	z	p-value
Random effects model	-0.0749	[-0.2317; 0.0820]	-0.94	0.3495

Quantifying heterogeneity (with 95%-CIs):

$\tau^2 = 0$; $\tau = 0$; $I^2 = 0.0\%$ [0.0%; 67.6%]; $H = 1.00$ [1.00; 1.76]

Test of heterogeneity: Q

d.f. p-value

0.26 7 0.9999

Details of meta-analysis methods:

- Inverse variance method
- DerSimonian-Laird estimator for τ^2
- Calculation of I^2 based on Q

=== ESTATÍSTICAS DE HETEROGENEIDADE ===

Tau²: 0

Tau: 0

I²: 0

H²: 1

Q: 0.26

Valor-p (Q): 0.99994

=== TESTE DE VIÉS DE PUBLICAÇÃO ===

Intercepto: NA

Erro padrão: NA

Valor-t: -0.1549

Valor-p: 0.8769

Resultado: Nenhuma evidência significativa de viés de publicação ($p \geq 0.05$)

APÊNDICE D – DECLARAÇÃO DE SUBMISSÃO



TERMO DE RECEBIMENTO DE OBRA

Declaramos para os devidos fins, que o manuscrito “APLICAÇÃO DE CÁLCIO E A PÓS-COLHEITA DE MAÇÃS: UMA META-ANÁLISE” do aluno **Valdecir André Kirch** do curso de Pós-graduação em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas do IF SERTÃO PE, foi submetido e aceito para publicação no livro “Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Coletânea de Pesquisas”, volume 2, ano 2025, a ser publicado pela Editora IF SERTÃO PE.

Petrolina (PE), 28 de julho de 2025.



Jane Oliveira Perez
Coordenadora da Editora
IF Sertão PE
Portaria DOU N° 121/2025