

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
DOUTORADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DIANA CAROLINA LIMA FREITAS**

**INFLUÊNCIA DE PULVERIZAÇÕES COM FÓSFORO EM PRÉ-COLHEITA  
NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS EM POMAR COM TELA  
ANTIGRANIZO**

**LAGES, SC  
2024**

**DIANA CAROLINA LIMA FREITAS**

**INFLUÊNCIA DE PULVERIZAÇÕES COM FÓSFORO EM PRÉ-COLHEITA  
NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS EM POMAR COM TELA  
ANTIGRANIZO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo, na área de concentração química e fertilidade do solo.

Orientador: Ph.D. Paulo Roberto Ernani

Coorientador: Dr. Cristiano André Steffens

**LAGES, SC  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Universitária Udesc,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Freitas, Diana Carolina Lima  
INFLUÊNCIA DE PULVERIZAÇÕES COM FÓSFORO EM  
PRÉ-COLHEITA NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS  
EM POMAR COM TELA ANTIGRANIZO / Diana Carolina  
Lima Freitas. -- 2024.  
61 p.

Orientador: Paulo Roberto Ernani  
Coorientador: Cristiano André Steffens  
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2024.

1. Malus domestica. 2. Qualidade de frutos. 3.  
Pós-colheita. 4. Adubação Foliar. 5. Adubação de pomares. I.  
Ernani, Paulo Roberto. II. Steffens, Cristiano André. III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo. IV. Título.

**DIANA CAROLINA LIMA FREITAS**

**INFLUÊNCIA DE PULVERIZAÇÕES COM FÓSFORO EM PRÉ-COLHEITA  
NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS EM POMAR COM TELA  
ANTIGRANIZO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo, na área de concentração química e fertilidade do solo.

Orientador: Ph.D. Paulo Roberto Ernani

Coorientador: Dr. Cristiano André Steffens

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Ph.D. Paulo Roberto Ernani - CAV/UDESC  
(Presidente)

Membros: \_\_\_\_\_  
Dra. Alessandra Aparecida de Sá Nunes  
(Membro externo)

\_\_\_\_\_  
Dra. Mariuccia Schlichting de Martin - EPAGRI  
(Membro externo)

\_\_\_\_\_  
Dr. Gilberto Nava – Embrapa e PPGCS  
(Membro interno)

\_\_\_\_\_  
Dr. Milton Cesar Coldebella - CAV/UDESC  
(Membro interno)

**Lages, 29 de maio de 2024**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Ph.D. Paulo Roberto Ernani, por toda a orientação, auxílio na colheita e na escrita e pela presente orientação que fez toda diferença na execução deste trabalho. Ao Dr. Cristiano André Steffens, pelo apoio e orientação nas análises no laboratório de Fisiologia e Pós-colheita. Por fim, agradeço imensamente a cada professor, que diretamente ou indiretamente, foram responsáveis pela contribuição da minha formação.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, que pela segunda vez foi a minha casa durante a pós-graduação, garantindo um ensino de qualidade e experiências inesquecíveis, muito obrigada.

À toda equipe do Laboratório de Fertilidade e Química do Solo e de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita do CAV/UDESC, a contribuição de vocês foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos amigos da rede de apoio da pós-graduação, pela compreensão e ajuda nos momentos difíceis, vocês foram verdadeiramente indispensáveis. Fica aqui o meu profundo agradecimento à Mayumi, Raquel, Vivi, Marissa, Sabrina, Juan, Jumara e José.

Aos amigos e familiares que acompanharam toda a minha carreira acadêmica até este momento, muito obrigada!

Ao André Ramos Marcinichen, meu esposo, pela paciência e compreensão nos meus momentos ausentes dedicados à pesquisa.

Aos meus pais, por todo apoio e amor.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da Bolsa de Doutorado e a UNIEDU/FUMDES pela continuidade da bolsa e apoio no período de prorrogação de curso.

“Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe. Só levo a certeza de que muito pouco eu sei ou nada sei. Conhecer as manhas e as manhãs. O sabor das massas e das maçãs”.

Fagner e Renato Teixeira

## RESUMO

FREITAS, D. C. L. INFLUÊNCIA DE PULVERIZAÇÕES COM FÓSFORO EM PRÉ-COLHEITA NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS EM POMAR COM TELA ANTIGRANIZO. 2024, 61 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages-SC, 2024.

Devido as condições climáticas adversas da Região Sul do Brasil, o uso de tela antigranizo se expandiu entre os produtores de maçã. Entretanto, o seu uso promove a redução da luminosidade, ocasionando inúmeras alterações na fisiologia das plantas, com reflexos na produtividade e na qualidade dos frutos. O uso de fertilizantes nessas situações pode mitigar esses efeitos negativos ocasionados pela cobertura dos pomares. O objetivo deste trabalho foi investigar se a aplicação de diferentes doses de fosfato monoamônico (MAP) via foliar na pré-colheita é benéfica para a qualidade físico-química das maçãs 'Galaxy' cultivadas em pomar coberto com tela antigranizo. O experimento foi conduzido durante três anos, num pomar comercial no município de Correia Pinto, SC. O pomar está implantado sobre um Cambissolo Húmico, no qual foi plantada a cultivar 'Galaxy', de ciclo precoce. Foi avaliado o efeito da adição de fósforo, via foliar na qualidade dos frutos. Seus tratamentos consistiram em quatro doses de MAP (0, 0,20%, 0,40% e 0,80%), aplicadas três vezes em cada safra, em pré-colheita, na vazão de 1.000 L ha<sup>-1</sup>. Foram determinados atributos relacionados com a qualidade e conservação (composição mineral, "russeting", coloração de fundo, cor vermelha da epiderme, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez, índice de amido, concentração de etileno, respiração) na colheita e após 120 dias de armazenagem em câmaras frigoríficas. Houve o incremento da cor, devido ao aumento dos valores de *L* e da redução dos valores do ângulo *h*<sup>o</sup>, conforme as doses de MAP aplicadas, apresentando uma coloração vermelho intenso. Não houve diferença significativa na área foliar e na firmeza da polpa. Ocorreu o aumento linear do teste de iodo-amido de 3,29 para 4,38. Houve diminuição nos sólidos solúveis em duas das três colheitas, assim como na acidez titulável. A taxa respiratória variou entre as safras, sem afetar a produção de etileno. Em uma safra, houve aumento linear na taxa respiratória de 97 nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> para 234,08 nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> com o aumento das doses de MAP. Quanto a composição mineral, observou-se que ocorreu o aumento do N nos tecidos de folha de 2,24% para 4,27%, não apresentando diferença significativa para os demais nutrientes. Quanto ao tecido da polpa, o potássio reduziu de 805 mg kg<sup>-1</sup> para 793,14 mg kg<sup>-1</sup>, não houve diferença estatística para os demais nutrientes avaliados. Isso indica um equilíbrio nutricional do pomar comercial onde o experimento estava instalado. Após o armazenamento refrigerado, não houve efeito na firmeza da polpa. Os resultados destacam a complexidade das interações entre a aplicação de MAP e as características dos frutos, ressaltando a importância de considerar as doses e as condições específicas de cultivo para atingir os objetivos desejados. A aplicação de MAP acelerou o processo de maturação dos frutos devido aos indicadores de aumento do índice de iodo-amido, incremento da cor vermelha, aumento da respiração e redução da acidez titulável, e, portanto, pode ser importante para manejar as estratégias de vendas.

**Palavras-chave:** *Malus domestica*. Qualidade de frutos. Pós-colheita. Adubação Foliar. Adubação de pomares.

## ABSTRACT

FREITAS, D. C. L INFLUENCE OF PRE-HARVEST PHOSPHORUS SPRAYS ON THE QUALITY OF APPLES PRODUCED IN ORCHARDS WITH ANTI-HAIL SCREEN. 2024, 61 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Santa Catarina State University. Postgraduate Program in Soil Science, Lages-SC, 2024.

Due to the adverse climatic conditions in the Southern of Brazil, the use of anti-hail screens has expanded among apple growers. However, its use promotes a reduction in light, causing numerous changes in the physiology of plants, with impacts on the yield and quality of the fruits. The use of some fertilizers in these situations can mitigate these negative effects caused by covering orchards. The objective of this work was to investigate whether the application of different doses of monoammonium phosphate (MAP) as pre-harvest sprays is beneficial for the physicochemical quality of 'Galaxy' apples produced in an orchard covered with anti-hail screen. The experiment was conducted for three years, in a commercial orchard, in the municipality of Correia Pinto, SC. The orchard is located on a humic Cambisol, in which the cultivar 'Galaxy' was planted. The treatments consisted of four doses of MAP (0, 0.20%, 0.40% and 0.80%), applied three times in each harvest, in pre-harvest, at a flow rate of 1,000 L ha<sup>-1</sup>. Attributes related to quality and conservation were determined (mineral composition, russeting, background color, red color of the skin, pulp firmness, soluble solids, acidity, starch index, ethylene concentration, and respiration) at harvest and after 120 days of cold storage. There was an increase in color, due to the increase in L values and the reduction in h<sup>o</sup> angle values, depending on the doses of MAP applied, presenting an intense red color. There were no significant differences on both leaf area and pulp firmness. There was a linear increase in the iodine-starch test from 3.29 to 4.38. There was a decrease in soluble solids in two out of the three growing seasons, as well as in titratable acidity. The respiratory rate varied between harvests, without affecting ethylene production. In one season, there was a linear increase in the respiratory rate from 97 nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> to 234.08 nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> with increasing MAP doses. Regarding the mineral composition, it was observed that there was an increase in N in leaf tissues from 2.24% to 4.27%, with no significant differences for the other nutrients. As for the pulp tissue, potassium reduced from 805 mg kg<sup>-1</sup> to 793 mg kg<sup>-1</sup>, and there were no statistical differences for the other nutrients evaluated, which indicates a nutritional balance in the commercial orchard. Fruits evaluated after cold storage, did not show differences on pulp firmness. The results highlight the complexity of the interactions between MAP application and fruit characteristics, highlighting the importance of considering doses and specific cultivation conditions to achieve the desired objectives. Finally, it was observed that the application of MAP accelerated the fruit maturation process, due to increases on iodine-starch index, on red color, on respiration and reduces on titratable acidity, and thus may be a strategy for fruit commercialization.

**Keywords:** *Malus domestica*. Post-harvest. Fruit quality. Foliar Fertilization. Orchard fertilization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Área foliar (A) e índice SPAD (B) de plantas de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 27
- Figura 2 - Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), e magnésio (E) nas folhas da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 30
- Figura 3 - Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), e magnésio (E) na polpa dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼). 32
- Figura 4 - Firmeza de polpa dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○)..... 33
- Figura 5 - Valores do teste do iodo-amido dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 34
- Figura 6 - Sólidos solúveis (SS) (A) e Acidez Titulável (AT) (B) dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 36
- Figura 7 - Índice de Cor Vermelha (ICV) dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 37
- Figura 8 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo hue ( $h^{\circ}$ ) (C) do lado mais vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 39
- Figura 9 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo 'hue' ( $h^{\circ}$ ) (C) do lado menos vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 41
- Figura 10 - Valores da taxa respiratória ( $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) (A) e produção de etileno ( $\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼). 43
- Figura 11 - Dados de precipitação (mm), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%) das safras 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023. .... 43

- Figura 12 - Incidência (A) e severidade (B) de “russeting” dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 44
- Figura 13 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo hue (h°) (C) do lado menos vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).46
- Figura 14 - Taxa respiratória (nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (A) e produção de etileno (pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 47
- Figura 15 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo hue (h°) (C) do lado menos vermelho dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 48
- Figura 16 - Valores de sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 49
- Figura 17 - Firmeza de polpa dos frutos da cultivar Galaxy avaliada na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 50
- Figura 18 - Taxa respiratória (nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (A) e produção de etileno (pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼)..... 51

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 11 |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....   | 14 |
| 2.1 ASPECTOS GERAIS DA MAÇÃ NACIONAL .....  | 14 |
| 2.2 A IMPORTÂNCIA DA MACIEIRA NO COMÉRCIO DA FRUTICULTURA<br>BRASILEIRA .....                             | 15 |
| 2.3 DESAFIOS DA FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO NO BRASIL<br>.....  | 15 |
| <b>2.3.1 O uso de telas antigranizo no cultivo de macieira e suas implicações</b><br>.....                | 16 |
| 2.4 FERTILIDADE DO SOLO E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA MACIEIRA<br>.....                                    | 16 |
| <b>2.4.1 Nitrogênio</b> .....   | 18 |
| <b>2.4.2 Fósforo</b> .....  | 18 |
| 2.5 QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DE MACIEIRA<br>ARMAZENADOS EM ATMOSFERA REFRIGERADA .....          | 20 |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 22 |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | 26 |
| 4.1 AVALIAÇÃO LOGO APÓS A COLHEITA.....   | 26 |
| 4.2 AVALIAÇÕES PÓS-ARMAZENAMENTO .....  | 45 |
| <b>4.2.1 Dados após o armazenamento refrigerado (AR)</b> .....  | 45 |
| <b>4.2.2 Dados da saída do armazenamento refrigerado (AR) após 7 dias de<br/>vida de prateleira</b> ..... | 47 |
| <b>5. CONCLUSÕES</b> .....  | 52 |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | 53 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 54 |

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos trinta anos, o Brasil passou de importador a exportador de maçãs. Em função da necessidade de ter que aumentar o volume das exportações e da crescente competição globalizada, é imprescindível aumentar a qualidade dos frutos, paralelamente ao aumento da produtividade e à redução dos custos de produção. A existência de áreas disponíveis para plantio com clima adequado, além de esforços voltados para o aumento da produtividade, melhorias na infraestrutura de embalagem e métodos de conservação contribuíram para posicionar o Brasil como um importante produtor de maçãs no cenário global (Bittencourt *et al.*, 2011).

Em 2021, a produção anual de maçãs no Brasil alcançou 1.297.424 toneladas, com os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina se destacando, sendo responsáveis por aproximadamente 48,46% e 48,45% da produção, respectivamente, totalizando 97% da produção nacional. A associação dos produtores e os órgãos governamentais deverão tomar atitudes para estimular o aumento do consumo no país bem como o volume das exportações. Para que isso seja atingido, é necessário, entretanto, que haja melhoria significativa da qualidade dos frutos. Por qualidade, entende-se a apresentação visual das frutas, o sabor, e a capacidade de conservação. O sabor e a conservação dos frutos são influenciados pelo estágio de maturação e pela composição química, dentre outros fatores (Monteiro *et al.*, 2023).

O aumento da exigência na qualidade, somado à concentrada produção de maçã em um curto período do ano, faz necessário realizar pesquisas relacionados ao manejo da cultura, buscando melhor eficiência agrônômica no uso de fertilizantes e sua influência na qualidade e conservação dos frutos (Brackmann *et al.*, 2008).

Nos últimos anos, inúmeros produtores cobriram seus pomares com telas para proteger os frutos dos estragos causados pela queda de granizo. O uso de telas antigranizo diminui a incidência de luz solar sobre as árvores e sobre os frutos, com efeitos adversos ainda pouco quantificados. Produtores que usam telas há muitos anos têm notado queda na produtividade e na qualidade dos frutos ao longo dos anos, principalmente relacionadas com

diminuição na pressão da polpa e na intensidade da cor vermelha da epiderme, com reflexos no tempo de conservação dos frutos em câmaras frigoríficas.

Além dos impactos na qualidade dos frutos de maçã, o uso da tela antigranizo reduz a intensidade da cor vermelha, diminui a quantidade de gemas com flor e a incidência de “russeting” (Leite *et al.*, 2002).

Na macieira, assim como em várias frutíferas, os atributos que determinam a qualidade geral dos frutos são afetados pelas condições climáticas e por diversas práticas agrícolas, tais como tela antigranizo, tipo de poda, a intensidade do raleio dos frutos, porta-enxerto e principalmente a nutrição das plantas.

O sombreamento das plantas pelo uso de telas antigranizo certamente afeta a fotossíntese e o acúmulo de reservas dessa espécie perene, e isto também pode ter influência na resposta das plantas à aplicação de adubos nitrogenados aos pomares (Amarante *et al.*, 2009).

Quanto ao fósforo (P), após o plantio não se faz mais a sua adição no solo, mesmo em pomares altamente produtivos, principalmente em decorrência da baixa resposta da macieira à adição desse nutriente (Nava; Dechen, 2009). Quando adubos fosfatados são adicionados anualmente aos pomares, durante muitos anos, o P pode atingir altos valores no solo, com riscos de poluição ambiental (Schmitt *et al.*, 2017).

O P é um nutriente presente em estruturas como DNA e RNA, atuando em processos de transferência e armazenamento de energia por meio do ATP e NADPH, participando de processos fisiológicos fundamentais como a fotossíntese, respiração, função celular, reprodução, entre outros. A aplicação via foliar tem como vantagem o fornecimento da quantidade a ser absorvida pela planta (EMBRAPA, 2010).

Sabe-se que as espécies frutíferas são normalmente pouco exigentes nesse nutriente após estarem estabelecidas e atingirem o estado adulto. Resultados obtidos nos países europeus e norte-americanos mostram pouca resposta da macieira à adição de P ao solo. Entretanto, nos solos do hemisfério norte, a disponibilidade natural de fósforo é maior e sua capacidade de absorção pelos componentes da fase sólida é menor do que em solos tropicais, onde predominam argilominerais do tipo 1:1 e óxidos-hidróxidos. Isso tudo, em

adição ao sombreamento dos pomares, pode fazer com que haja necessidade de adição de adubos fosfatados.

Observa-se que espécies frutíferas manifestam uma resposta diminuta à fertilização fosfatada de manutenção em pomares que receberam correções com fósforo adequadas durante o processo de implantação. Tal fenômeno é atribuído, primordialmente, à ampla janela temporal disponível para estas espécies absorverem o fósforo, em comparação com as espécies de cultivo anual (Cechinel, 2016).

Por ser uma cultura perene, a maçã requer nutrição balanceada para crescimento, rendimento ideal e qualidade dos frutos (Ljavić *et al.*, 2023). A fertilização foliar é uma tecnologia contemporânea e de sucesso que tem o potencial de contribuir substancialmente para a preservação do equilíbrio fisiológico entre o crescimento e a frutificação, ao mesmo tempo que melhora a quantidade e a qualidade dos frutos (Suman; Sangman; Singh, 2017).

Entretanto alguns estudos indicam que a aplicação de P incrementa o rendimento e qualidade dos frutos, e que baixos teores de P nos frutos podem causar distúrbios fisiológicos pós-colheita (Amarante *et al.*, 2012). Além disso, o uso de fertilizantes fosfatados pulverizados diretamente sobre os frutos, em pré-colheita, pode aumentar a pressão da polpa e a intensidade de cor vermelha da casca.

Conforme relatado por Musa (2016), a fertilização fosfatada pode afetar diversos parâmetros de qualidade em frutas, incluindo os sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável total (ATT), a relação SST/ATT, o pH, as antocianinas, vitamina C, cálcio, sódio, potássio, e a coloração.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar se a aplicação de diferentes doses de fosfato monoamônico (MAP), via foliar, em pré-colheita, beneficia a qualidade físico-química de maçãs 'Galaxy' produzidas em pomar coberto com tela antigranizo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DA MAÇÃ NACIONAL

A região do Planalto Serrano, onde se localiza a cidade de Correia Pinto-SC, é uma área expressiva de produção de maçãs (*Malus domestica* Borkh.) no sul do Brasil, onde seu cultivo representa uma das principais atividades agrícolas. A macieira pertence à família Rosaceae, subfamília Pomoideae, gênero *Malus* e espécie *Malus x domestica* (EMBRAPA, 2013).

É uma espécie de fruteira lenhosa, decídua, temperada que é muito adaptável a diferentes climas, crescendo desde os trópicos até altas latitudes. As principais características são profundo receptáculo em forma de taça, cujas paredes inferiores se unem aos carpelos, os quais unem-se também entre si e contêm geralmente dois óvulos. O fruto é um pomo, constituído por grande receptáculo carnudo que envolve os ovários, cujo endocarpo é coriáceo ou pétreo e contém uma única semente. As plantas são árvores, com folhas alternadas simples, caducas, estipuladas, peninérveas de bordos dentados e tomentosas na parte inferior. As flores são brancas ou rosas (6 à 8), inferovariadas, dispostas em inflorescência denominada umbela, pentâmeras, actinomorfas, hermafroditas e caracterizadas por 5 a 2 carpelos. O cálice é persistente e a corola caduca (EMBRAPA, 2013).

Dentre as cultivares mais consumidas pelos brasileiros destacam-se a 'Gala' e a 'Fuji'. A cultivar Gala é a mais consumida no Brasil, reconhecida no mercado interno pelo sabor doce, crocância e leve toque de acidez. Tem formato redondo com base cônica e cor vermelha rajada com o fundo amarelo facilitando assim a sua identificação. Sendo ideal para o consumo *in natura* e também para receitas assadas ou cozidas, bem como, para o preparo de saladas e molhos (ABPM, 2022).

A cultivar Galaxy é mutante da cultivar Gala, apresentando epiderme vermelha rajada, lisa e brilhante, polpa firme, crocante, suculenta bem balanceada em ácidos e sólidos solúveis (Brackmann *et al.*, 2008). Ela é indicada para plantio em regiões que possibilitam o desenvolvimento da coloração intensa e brilhante. Sendo assim, é uma das cultivares mais plantados no Sul do Brasil desde 2010 (Faoro, 2022).

## 2.2 A IMPORTÂNCIA DA MACIEIRA NO COMÉRCIO DA FRUTICULTURA BRASILEIRA

O cultivo da Macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma atividade agrícola de grande importância socioeconômica em regiões de altitude no Sul do Brasil (Hawerth; Nachtigall, 2016). A produção brasileira de maçã aumentou significativamente desde o início da década de 70, permitindo ao Brasil transformar-se de importador a exportador (Fioravanço, 2009). Segundo Pasa *et al.* (2016) a maçã está em segundo lugar na produção brasileira como fruta de clima temperado, tendo atingido uma produção de quase 1,4 milhões de toneladas.

A cadeia produtiva da maçã possui inserção destacada no cenário da fruticultura brasileira, o que lhe confere inquestionável importância na cadeia agroalimentar do país. A macieira é uma espécie agrícola cujo cultivo atinge altos custos, sendo uma cultura típica de clima temperado, que exige um período de inverno frio e uma estação vegetativa quente e com boa luminosidade (Gomes; Neto, 2015). Entretanto, a região sul do Brasil é marcada por fortes chuvas de granizo, fazendo com que os produtores recorram ao uso de telas antigranizo, que afetam a luminosidade disponível as plantas.

## 2.3 DESAFIOS DA FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO NO BRASIL

Devido a modernização com o uso de tecnologias de baixo impacto ambiental e melhor gestão rural, o aumento da área cultivada de frutas de clima temperado tem crescido no Brasil. Buscando atender as exigências do mercado consumidor e transpondo as rigorosas barreiras fitossanitárias impostas pelos países importadores (Fachinello *et al.*, 2011).

Um dos principais desafios dentro da fruticultura de clima temperado é que pode ocorrer a predominância de uma ou duas espécies, ocasionando diferentes problemas dentro das regiões. Tais como: comercialização, falta de transporte, armazenamento, logística, elevados custos de implantação e produção e condições climáticas desfavoráveis nas regiões produtoras (Fachinello; Nachtigal; Kersten, 2008).

### 2.3.1 O uso de telas antigranizo no cultivo de macieira e suas implicações

O uso de telas antigranizo é a principal estratégia para minimizar os danos de precipitação de granizo em pomares de macieira na região sul do Brasil. Estima-se que atualmente mais de 20% da área de produção esteja protegida com telas antigranizo e tem a propensão de aumento significativo de áreas com este sistema no Estado de Santa Catarina. Entretanto o uso destas telas afeta a radiação fotossinteticamente ativa incidente, interceptada, absorvida, transmitida e refletida pelo dossel das plantas (Hawerth; Nachtigall, 2018).

A cobertura do pomar com tela diminui a incidência de luz nas plantas, avaliada por meio da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, em 21% para a tela branca e em 25% para a tela preta (Amarante *et al.*, 2007). Estes autores observaram que o sombreamento ocasionado pelas telas diminuiu a respiração no escuro, o ponto de compensação de luz e a taxa máxima de fotossíntese nas folhas, com consequências negativas no peso e na intensidade de cor vermelha dos frutos.

Hawerth e Nachtigall (2018) afirmam que o uso de tela antigranizo tende a afetar o microclima da cultura e interferir nas relações planta-ambiente, de modo a determinar na fisiologia da macieira, com impactos na quantidade e na qualidade dos frutos produzidos.

## 2.4 FERTILIDADE DO SOLO E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA MACIEIRA

Além da disponibilidade dos nutrientes às plantas, a relação quantitativa entre alguns deles tem grande influência na produtividade e na qualidade dos frutos de várias espécies. Para a cultura da macieira, as relações entre N, K, Ca, Mg e B são as que mais afetam a qualidade dos frutos (Amarante *et al.*, 2011), principalmente quando ocorrem deficiências ou excessos de alguns deles.

Os nutrientes mais extraídos pela cultura da maçã são o nitrogênio (N) e o potássio (K) necessitando assim de um suprimento balanceado deles para buscar o equilíbrio nutricional da planta, a produtividade e a qualidade dos frutos. A deficiência de N resulta em plantas com baixo vigor vegetativo e baixo potencial produtivo (Nava, 2007). O excesso de N, em contrapartida, afeta

negativamente a produtividade, a incidência de distúrbios fisiológicos, a qualidade e a capacidade de conservação dos frutos. Por isso, é necessário avaliar regionalmente se é necessário adicionar N ao solo em pomares de macieira cobertos com tela antigranizo, especialmente quando plantados em solos pouco profundos.

O fósforo desempenha um papel fundamental no metabolismo das plantas, participando em diversas reações bioquímicas, incluindo a respiração e a conversão de energia. Especificamente na macieira, sua presença é essencial para estimular o crescimento radicular precoce, o desenvolvimento vigoroso das plantas e uma floração saudável, uma vez que contribui para a constituição de enzimas. A falta de fósforo pode prejudicar tanto o crescimento das partes aéreas quanto do sistema radicular das plantas. No entanto, a cultura da macieira geralmente não enfrenta grandes problemas de deficiência de fósforo, pois ela tem uma demanda moderada e adaptação aos solos com baixa disponibilidade desse nutriente. Isso se deve em parte à capacidade das raízes das macieiras de absorver fósforo, possivelmente facilitada pela presença de micorrizas (Nava *et al.*, 2002).

A fertilização com P tem recebido muito menos atenção do que a de nitrogênio e potássio (Fallahi *et al.*, 2010). Neilsen *et al.* (2008) realizaram um estudo sobre o impacto da aplicação anual de fósforo via fertirrigação durante a floração em várias cultivares de maçã. O tratamento com fósforo resultou em aumentos consistentes nas concentrações de P nas folhas e nos frutos, com pouca variação entre as cultivares. Além disso, a fertirrigação com P aumentou o rendimento acumulado de todas as cultivares nas cinco primeiras estações de frutificação. No entanto, os atributos de qualidade dos frutos, como tamanho, sólidos solúveis, acidez e cor vermelha, não foram afetados pela aplicação de P.

A deficiência de K reduz a produtividade, o tamanho e a coloração dos frutos (Neilsen *et al.*, 1998; Neilsen *et al.*, 2000). O excesso desse nutriente, entretanto, pode reduzir a qualidade e a capacidade de armazenamento dos frutos, por diminuir a absorção de Ca (Dolega; Link, 1996; Krivorot *et al.*, 1996), fenômeno esse nem sempre consistente nas condições brasileiras (Ernani; Dias; Flore, 2002).

### 2.4.1 Nitrogênio

O nitrogênio faz parte de inúmeros componentes importantes no metabolismo vegetal incluindo as proteínas, vitaminas, hormônios e a molécula de clorofila, dentre outros. Sendo assim, ele afeta inúmeros processos fisiológicos na planta, incluindo a fotossíntese, o metabolismo do carbono, e o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das macieiras. Além disso, o suprimento de N afeta o acúmulo de reservas pelas macieiras, com reflexos na diferenciação floral, na formação de gemas floríferas, na frutificação efetiva, no rendimento e na qualidade dos frutos.

Com a utilização de novas técnicas de produção, incluindo a utilização de maior número de plantas por hectare, o uso de porta-enxertos anões, a cobertura dos pomares com telas antigranizo que diminui a incidência de sol, aliados ao incremento na produtividade, é provável que haja maior necessidade de N pelas plantas e que o suprimento a partir da matéria orgânica do solo seja insuficiente.

Na região produtora de maçã de Santa Catarina, dois outros fatores afetam a disponibilidade de N do solo: a presença de solos rasos e pedregosos e a cobertura dos pomares com tela antigranizo. Nos solos rasos, a liberação de N para a macieira é insuficiente, havendo necessidade da suplementação com adubos nitrogenados (Nava; Dechen, 2009). O uso de telas antigranizo, por outro lado, diminui a incidência de luz nos pomares e a taxa fotossintética (Amarante *et al.*, 2009) e com isso afeta a eficiência de uso de N pelas plantas.

Além disso, em condições de insuficiente luminosidade nas plantas, a atividade das raízes diminui, com reflexos negativos na absorção de N e na fotossíntese. Sendo assim, é possível que tenhamos que adicionar mais N em pomares cobertos com tela, especialmente plantados em solos rasos, em comparação a pomares sem cobertura.

### 2.4.2 Fósforo

Independentemente da zona mundial de produção, a adubação com fósforo em pomares de macieira tem recebido menos atenção do que a adubação com nitrogênio e potássio (Neilsen *et al.*, 2008). Os solos da região sul do Brasil onde a macieira é cultivada são muito ácidos e possuem grandes

quantidades de óxidos de ferro, alumínio e manganês, que lhes proporcionam alta capacidade de fixação de fósforo (Ernani *et al.*, 1996). Em função disso, fertilizantes fosfatados sempre são adicionados antes da implantação dos pomares (Comissão de Fertilidade Do Solo, 2016), pois o P, juntamente com Ca, K e B são nutrientes muito importantes para a qualidade dos frutos de macieira (Wang *et al.*, 2015).

Os resultados no rendimento, entretanto, não são unânimes e alguns estudos recentes mostram que a adição de P incrementa tanto o rendimento quanto a qualidade dos frutos. Neilsen *et al.* (2008) avaliaram o efeito da adição de P a solos canadenses, via fertirrigação, em cinco cultivares de maçã, e verificaram incremento no rendimento e melhoria na qualidade de frutos. Aplicações de P via fertirrigação em solos do Canadá resultaram em um aumento médio de 20% no rendimento de cultivares de macieira como Fuji, Gala, Ambrosia, Silken e Cameo (Neilsen *et al.*, 2008). Quando o fósforo foi aplicado via foliar, em pré-colheita, Stampar *et al.* (2015) verificaram aumentos no teor de antocianinas e na intensidade da cor vermelha de maçãs da cultivar Braeburn. Ainda no tocante à qualidade de frutos, Zhu *et al.* (2014) constataram que a diminuição da disponibilidade de P nas folhas nos estágios finais de maturação diminuiu o conteúdo de açúcares nos frutos.

A associação das raízes das plantas com fungos micorrízicos é uma das razões apontadas pela baixa resposta à adição de P a pomares de macieira. A associação aumenta a área de absorção, facilitando com isso a aquisição de P pela macieira (Gharghani; Hosseini, 2015), cuja mobilidade no solo é extremamente lenta. Recentemente tem sido verificado que o aumento no teor de cobre prejudica a colonização das raízes de macieira com micorrizas (Meyer *et al.*, 2015). Isto passa a ser preocupante em função do aumento significativo de pulverizações com cobre para tentar controlar o avanço do cancro europeu, uma doença de alta agressividade recentemente observada nos pomares brasileiros. Sendo assim, o suprimento de P via foliar, em pré-colheita, poderá vir a ser uma técnica eficiente de suplementar P aos frutos de macieiras.

Baixos teores de P nos frutos podem causar distúrbios fisiológicos pós-colheita (Amarante *et al.*, 2012). Neilsen *et al.* (2008) observaram que frutos das cultivares Fuji e Silken com teores de P menores do que 100 mg kg<sup>-1</sup> apresentaram menor potencial de armazenamento. Que se caracteriza pela

presença de áreas translúcidas na polpa, em razão da inundação dos espaços intracelulares com suco rico em sorbitol (Corrêa *et al.*, 2010). Em geral, maçãs com teores de P inferiores a 100 mg kg<sup>-1</sup> apresentam maiores riscos de comprometimento da qualidade pós-colheita (Amarante *et al.*, 2012).

Alguns estudos mostram que adubações foliares com P têm aumentado a concentração desse nutriente nos frutos, reduzindo a suscetibilidade a danos causados pela baixa temperatura (Johnson; Yogoratnam, 1978) e a perda de firmeza de polpa (Webster; Lidster, 1986). Toivonen *et al.* (2019) verificaram que pulverizações foliares com P em pré-colheita aumentaram a intensidade de cor vermelha de maçãs da cultivar Ambrosia.

## 2.5 QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DE MACIEIRA ARMAZENADOS EM ATMOSFERA REFRIGERADA

A colheita de maçãs 'Gala' ocorre entre os meses de janeiro a março. Devido às condições climáticas e para atender o mercado consumidor e regularizar a oferta e o preço, os frutos são submetidos ao armazenamento refrigerado (AR) que é utilizado amplamente pelas empresas e produtores de maçã (Mostafavi *et al.*, 2013). Em condições de armazenamento refrigerado, em que apenas a temperatura e a umidade relativa são controladas, o período de conservação é de até quatro meses para a cultivar Gala (Brackmann *et al.*, 2008).

O etileno é conhecido como o hormônio do amadurecimento, pois é o responsável por induzir este processo ao fruto. A respiração em conjunto com o etileno induz a transformação que torna o fruto comestível e apto ao paladar. Logo, quanto maior for a produção de etileno e respiração, mais rápido será o amadurecimento e a senescência do fruto. Para minimizar estes efeitos, usa-se o armazenamento em baixa temperatura e alta umidade relativa (UR) cuja finalidade é retardar o amadurecimento do fruto e conseqüentemente reduzir as perdas de frutas por podridões (Anese, 2015).

Buscando maximizar a vida pós-colheita de frutas, há diversas tecnologias associadas às condições de armazenamento que podem auxiliar neste processo. O armazenamento à baixa temperatura é uma das técnicas mais eficientes para aumentar a conservação pós-colheita dos frutos e minimizar as perdas. No entanto, é necessário associar à refrigeração outros

métodos de conservação para melhor preservar os aspectos de qualidade (Fante *et al.*, 2013).

A longa vida das maçãs é, entretanto, geralmente limitada pela baixa firmeza de polpa, amarelecimento, ocorrência de degenerescência senescente da polpa, polpa farinácea, rachadura nos frutos e podridões (Lu, Ma, Liu, 2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no município de Correia Pinto, SC (27° 35' 05" S e 50° 21' 40" W, com altitude de 847 metros), em um pomar comercial instalado sobre um Cambissolo Húmico, coberto com tela antigranizo de cor preta. De acordo com Köppen-Geiger, o clima de Correia Pinto é classificado como mesotérmico úmido (Cfb), pertencente ao grupo C, caracterizado por não ter uma estação seca, verões frescos no centro-sul e verões amenos nas outras áreas, com a temperatura média do mês mais quente ficando abaixo de 22°C (UDESC, 2014). O solo possui 42% de argila, pH 6,0, 4,5% de matéria orgânica, P = 10 mg kg<sup>-1</sup>, e K = 170 mg kg<sup>-1</sup>. Mudanças da cultivar Galaxy, produzidas sobre Marubakaido com filtro de M-9. Foram plantadas em 2015 no espaçamento de 1,5 x 4,5 m, perfazendo uma densidade de 1480 plantas por hectare, cujas polinizadoras são plantas da cultivar Fuji, plantadas em filas alternadas. Antes da implantação, foi aplicado calcário, na dose necessária para elevar o pH até 6,0, e fertilizantes contendo P e K de modo a elevar a fertilidade do solo a níveis satisfatórios. Após isso, foram feitas apenas adubações de manutenção, com nitrogênio (ureia) e potássio (KCl).

Os tratamentos começaram a ser aplicados em dezembro de 2020 e foram constituídos por quatro doses anuais de fosfato monoamônico (MAP), pulverizadas sobre as plantas com o auxílio de um trator acoplado com pulverizador do tipo turboatomizador, na faixa mediana da planta, em pré-colheita. Em cada safra, os tratamentos foram repetidos três vezes, espaçados a cada dez dias, e iniciaram 45 dias antes da data prevista para a colheita comercial. O P foi aplicado na forma de fosfato monoamônico (MAP) purificado, nas concentrações 0%, 0,20%, 0,40% e 0,80% do produto comercial (11% de N e 60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), onde a testemunha foi utilizado somente água. O volume de calda foi sempre de 1.000 L ha<sup>-1</sup>.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por dez plantas, distribuídas ao longo da fila de plantio, das quais somente as oito centrais foram utilizadas para as avaliações. Os tratamentos culturais, incluindo poda de inverno, aplicação de fungicidas, inseticidas e herbicidas, raleio dos frutos, e de óleo mineral mais Cianamida Hidrogenada para quebra de dormência, foram os

mesmos utilizados no pomar comercial, e fazem parte das recomendações técnicas para a produção integrada da macieira.

A colheita foi realizada somente na parte mediana em dois ramos inteiros, sendo colhido aproximadamente 120 frutos por unidade experimental, que foram acondicionadas em caixas plásticas, e uma delas foi armazenada durante quatro meses em câmaras frigoríficas (1,5 °C ( $\pm 0,5$  °C) e umidade relativa do ar de 92% ( $\pm 2\%$ ) para a avaliação da composição química e de parâmetros relacionados com a qualidade e capacidade de conservação dos frutos.

As avaliações foram feitas na colheita, na saída do armazenamento refrigerado (AR) e uma semana após o término do armazenamento (120 dias) onde as avaliações foram feitas após a manutenção dos frutos durante sete dias em temperatura ambiente (20 °C). Os frutos foram mantidos em laboratório, para simular o tempo de prateleira nos locais de venda. Em cada época, foram utilizados todos os frutos para a determinação da incidência e severidade de “russeting” e Índice de Cor Vermelha (ICV), 25 frutos foram utilizados para coloração de fundo da epiderme, firmeza da polpa (FP), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de iodo-amido. A concentração de etileno, respiração foram realizadas com aproximadamente 1000 g de cada amostra.

As avaliações de firmeza da polpa, sólidos solúveis, índice de amido (através do teste de iodo-amido) e acidez titulável, foram feitas conforme metodologia descrita por Brackmann *et al.* (2000). A firmeza da polpa foi medida com o uso de penetrômetro modelo Effegi, munido de ponteira de 11,1 mm.

Para a avaliação de severidade do “russeting” foram avaliados todos os frutos da amostragem para estimar o efeito da aplicação de MAP, quanto à incidência e severidade de distúrbios fisiológicos. Esta análise visual foi realizada com o atributo de 5 notas, sendo: nível 0 = frutos com ausência de “russeting” na epiderme do fruto, tolerando-se aquele restrito à cavidade peduncular; nível 1 = menos de 10% da superfície do fruto recoberta com “russeting”; nível 2 = recobrimento da superfície do fruto com “russeting” maior ou igual 10% e menor que 30%; nível 3 = recobrimento da superfície do fruto

com “russeting” maior ou igual 30% e menor que 50%; e nível 4 = mais de 50% da superfície do fruto recoberta com “russeting” (Camilo; Denardi, 2001).

O índice de amido foi avaliado em uma escala de 1 (toda a superfície corada com iodo, correspondendo à predominância de amido e fruto imaturo) a 5 (toda a superfície não corada com iodo, correspondendo à predominância de açúcares solúveis e fruto totalmente maduro).

A acidez foi medida em amostras de suco extraídas de vinte e cinco frutos de cada parcela. A amostra (5 mL) foi diluída em 45 mL de água destilada e titulada com uma solução de NaOH 0,1 N até atingir um pH de 8,1, utilizando um titulador automático TitroLine Easy® (Schott Instruments, Mainz, Rheinland Pfalz, Alemanha). O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado por refratometria, usando o suco extraído conforme descrito anteriormente, com um refratômetro digital (modelo PR201α, Atago, Tóquio, Japão), com correção para o efeito da temperatura (20 °C).

A cor de fundo da epiderme e a intensidade de cor vermelha foram determinadas utilizando-se um colorímetro eletrônico Konica Minolta®, modelo CR 400 (Osaka, Japão), que efetua a leitura da cor em escala tridimensional CIE  $L$ ,  $C$ ,  $h^\circ$ . Onde o “ $L$ ” representa a luminosidade (0=preto e 100=branco), “ $C^*$ ” indica cromaticidade, e “ $h^\circ$ ” indica a coloração básica (0° = vermelho, 90°=amarelo e 180°=verde). Essas leituras foram efetuadas, respectivamente, em áreas com menor e com maior presença de coloração vermelha. Também foi avaliado o Índice de Cor Vermelha (ICV) através da análise da superfície dos frutos recoberta com coloração vermelha, à qual foram atribuídas notas de 1 a 4 para as percentagens da superfície dos frutos pigmentadas de vermelho de 0–25, 26–50, 51–75 e 76–100%, respectivamente (Steffens *et al.*, 2006).

As análises da produção de etileno ( $\mu\text{mol de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foram realizadas utilizando um cromatógrafo gasoso modelo CG-3800® (Varian, Palo Alto, CA, EUA) equipado com uma coluna Porapak N® de 3 m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. A temperatura da coluna foi ajustada para 70°C, a do detector para 250°C, a do metanador para 380°C e a do injetor para 130°C. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético utilizados foram de 70, 30 e 300 mL min<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram pesados os frutos até atingir massa aproximada a 1000 g de cada unidade experimental, os quais foram acondicionados hermeticamente em recipientes

de vidro com capacidade de 6 L. Após 30 minutos dos fechamentos dos vidros, foram coletadas três amostras gasosas de cada vidro, com seringa plástica, para quantificação da produção de etileno, através de cromatografia gasosa. Logo a seguir, foi determinada a pressão parcial de CO<sub>2</sub> dentro de cada recipiente, com um analisador eletrônico de gases de fluxo contínuo, o qual possibilita calcular a respiração dos frutos ( $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ).

Outros vinte frutos foram utilizados para a avaliação da concentração química de alguns nutrientes na polpa e folhas dos frutos. Da polpa, foi retirada uma fatia em forma triangular, sendo a base próximo a epiderme, com 1,0 cm, e o ápice no carpelo. Ambas as partes foram digeridas com uma mistura de ácido sulfúrico concentrado e peróxido de hidrogênio 30%, em bloco digestor regulado para atingir uma temperatura máxima de 350 °C. O procedimento de digestão, à exceção da massa das amostras (5,0 g para a polpa e 2,5 g para folhas), assim como de determinação dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg), foram os mesmos a serem utilizados para as amostras de folhas, descritos posteriormente.

Amostras de quarenta folhas por unidade experimental, com pecíolo, foram coletadas anualmente, da parte mediana dos ramos emitidos no ano, entre 15 de janeiro à 15 de fevereiro. Elas foram secadas em estufa (65 °C) até peso constante. Posteriormente, subamostras com 0,200 g foram digeridas com uma mistura de 2 mL de ácido sulfúrico concentrado e 5 mL de peróxido de hidrogênio (30%), em alta temperatura. O bloco digestor foi aquecido gradativamente até atingir temperatura máxima de 350°C, na primeira hora, e as amostras permaneceram nele por um período aproximado de três horas. Nos extratos, foi determinada a concentração de N, P, K, Ca e Mg, de acordo com metodologia proposta por Tedesco *et al.*, (1995). A análise de área foliar foi realizada através de um integrador de área foliar, marca LI-COR modelo LI-3050A. O teor total de clorofilas foi determinado por um método não destrutivo, utilizando o medidor portátil de clorofila Minolta SPAD-502, sendo a leitura realizada próxima à nervura principal da folha. Os dados foram analisados por meio da análise da variância e análises de regressão.

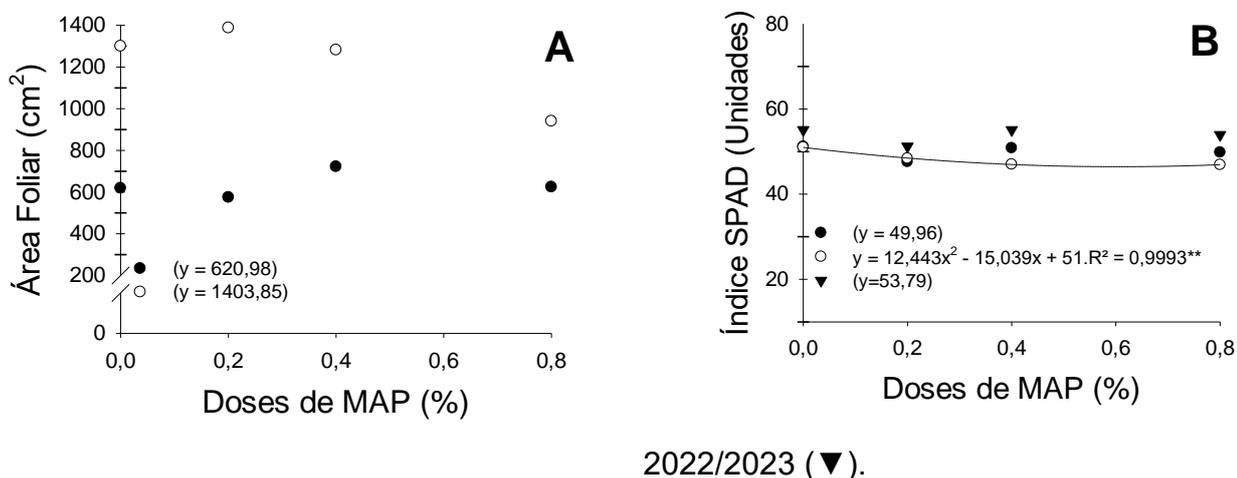
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 AVALIAÇÃO LOGO APÓS A COLHEITA

A aplicação de fósforo na forma de MAP não afetou a área foliar nos dois primeiros anos de avaliação, onde os valores médios foram de 635 e 1227 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 1A). O índice SPAD, que determina o teor de clorofila nas folhas através da intensidade da cor verde, não foi afetado nas safras 2020/2021 e 2022/2023 (Figura 1B). Na safra 2021/2022, entretanto, o índice SPAD diminuiu com o aumento da dose de MAP, sendo que o valor máximo estimado seria obtido com a dose de 0,60%.

A utilidade do medidor de clorofila para diagnóstico nutricional tem sido estudada em várias culturas frutíferas, como macieira, cítricos, videira, entre outras (Nava; Ciotta, 2013; Treder *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2011; Brunetto *et al.*, 2012). Esses estudos mostraram uma correlação satisfatória entre as leituras SPAD e o conteúdo de clorofila ou o teor total de N nas folhas, uma vez que aproximadamente 75% do N nas folhas está presente em compostos associados aos cloroplastos e ao conteúdo de clorofila (Roberts *et al.*, 2012). Essa relação positiva entre o índice SPAD e o teor de N foliar se deve ao fato de que o aparelho SPAD-502 quantifica a intensidade do verde foliar, medindo transmissões de luz a 650 nm (Cerovic *et al.*, 2015; Benati; Nava; Mayer, 2021).

Figura 1 - Área foliar (A) e índice SPAD (B) de plantas de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $**1\%$  de significância;  $*5\%$  de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quanto à composição mineral das folhas, ocorreu o aumento da concentração de nitrogênio (Figura 2A) com o aumento das doses de MAP aplicadas somente na safra 2020/2021, e nela o valor máximo estimado seria obtido com a dose de 0,54%. Não houve efeito das doses de MAP no N nas folhas nas demais safras, os teores médios encontrados foram de 4,69 e 4,2%, para as safras de 2021/2022 e 2022/2023, respectivamente.

Quanto ao teor de fósforo nas folhas (Figura 2B), não foram observados efeitos significativos da aplicação de MAP em nenhuma das safras avaliadas, mantendo-se os teores médios em 0,30%, 0,30% e 0,17%, respectivamente. A baixa mobilidade do fósforo no solo pode limitar a eficácia dos adubos fosfatados aplicados na superfície. No entanto, os teores de fósforo nas folhas das três safras permaneceram dentro da faixa considerada normal (entre 1,5 e 3,0 g kg<sup>-1</sup>), o que pode ser atribuído às características dos pomares de Santa Catarina (Suzuki; Basso, 2006).

O fósforo é um nutriente móvel na planta, mas a velocidade de absorção foliar varia entre os nutrientes. O potássio é absorvido rapidamente, em horas ou até um dia, enquanto o fósforo é absorvido mais lentamente. Portanto, a decisão de realizar a adubação foliar é crucial, pois diversos fatores

relacionados à planta, ao ambiente e à solução aplicada podem influenciar a eficiência da adubação (Natchigall; Nava, 2010).

O teor de potássio nas folhas (Figura 2C) não foi afetado pela aplicação de MAP foliar na safra de 2020/2021, onde obteve teor médio de 1,18%. Entretanto, na safra 2021/2022, ele aumentou linearmente de 1,39 para 1,61%, apresentando teor médio de 1,46%, com o aumento da dose de MAP aplicada. No último ano avaliado (safra 2022/2023), ocorreu o contrário, ou seja, o potássio diminuiu com a aplicação das crescentes doses de MAP, se adaptando ao modelo quadrático, sendo que o ponto de mínima estimado seria obtido com a dose de 0,45% e com teor médio de 1,54%.

O teor de cálcio nas folhas (Figura 2D) não foi afetado pela aplicação foliar de MAP em nenhuma das duas safras avaliadas, apresentando teores médios de 1,12% e 1,07%, respectivamente.

O teor de magnésio nas folhas (Figura 2E), por outro lado, teve um decréscimo linear de 0,22% para 0,18% com o aumento das doses de MAP aplicadas, porém somente na safra 2021/2022, onde o teor médio encontrado foi de 0,20%. Nas outras safras, o teor Mg não foi afetado e os teores médios apresentados foram de 0,22% (safra 2020/2021) e 0,12% safra (2022/2023).

O MAP contém em sua composição nitrogênio na forma amoniacal (entre 10 à 12%) e fósforo ( $P_2O_5$ ) (48 à 61%) e pode influenciar nos teores foliares de outros nutrientes (IPNI, 2016). Logo, aumentando o N, normalmente, há reduções dos teores foliares de K, P, Zn e B (Suzuki; Basso, 2006). Apesar da aplicação dos tratamentos com MAP, a área recebeu adubações de manutenção de N e K, o que sugere uma possível competição entre os nutrientes.

Outro fator relevante para o teor de fósforo nas folhas é a influência das condições da cultivar. Estudos anteriores observaram que a aplicação do MAP aumentou as concentrações de P nas folhas de cultivares como Delicious e Golden Delicious, ressaltando a importância das características específicas da cultivar na resposta aos fertilizantes fosfatados aplicados via solo (Raese, 1998).

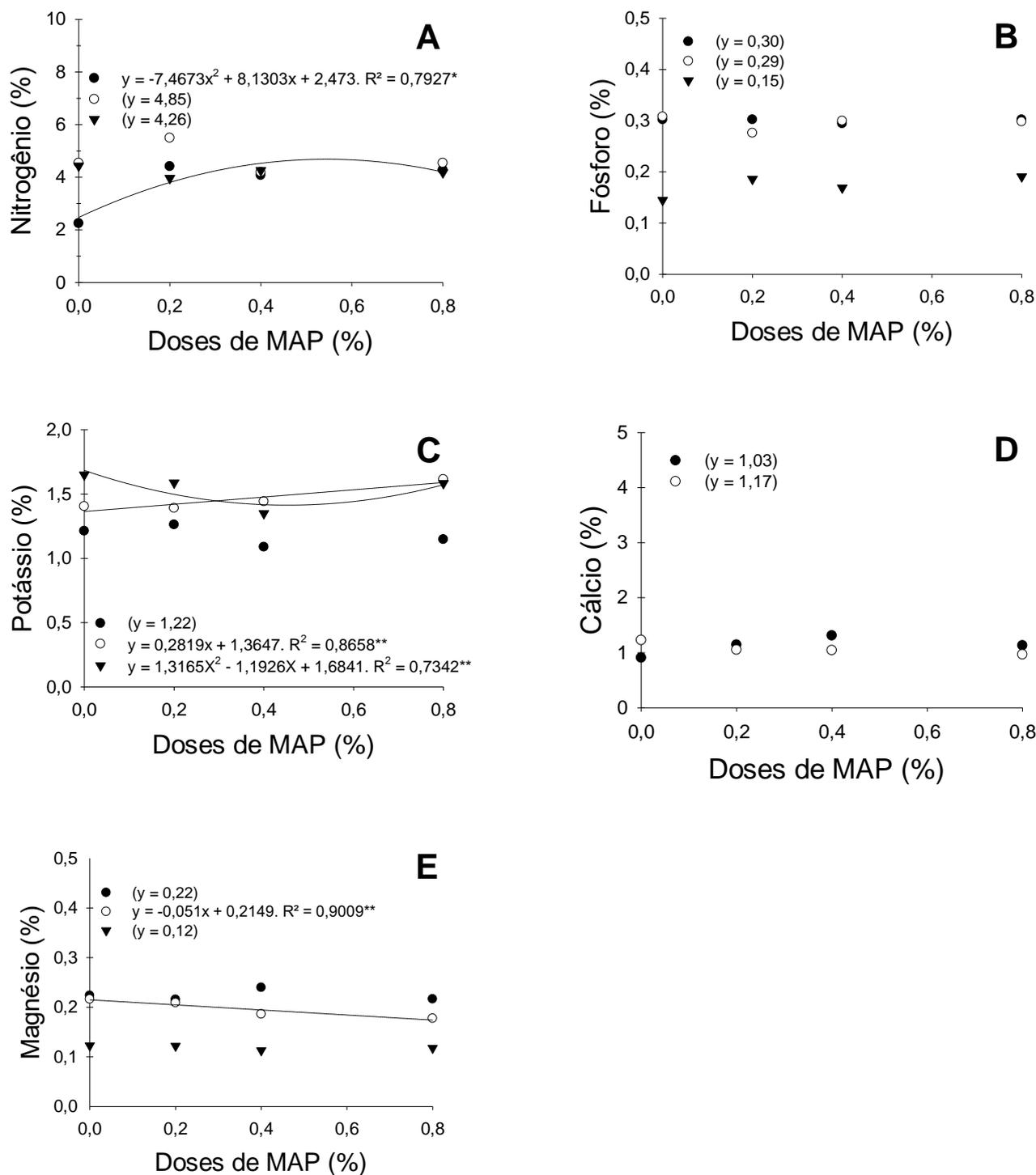
A aplicação foliar de MAP influenciou nos teores de nitrogênio, potássio e magnésio nas folhas das plantas de maçã 'Gala'. Quanto ao Ca, este pode ter sido influenciado pela competição de nutrientes, uma vez que este é pouco

móvel na planta e as intercalações entre as safras nos teores dos nutrientes, podem impactar na absorção de cálcio e o desenvolvimento das plantas. Essa interação sugere uma possível competição entre o magnésio e outros nutrientes, como o potássio (Suzuki; Basso, 2006).

A taxa de absorção de nutrientes pelas folhas é determinada pela concentração deles no apoplasto, controlada principalmente pela difusão de íons através da cutícula e pelo reservatório de água presente sobre as folhas. Este fator limita a quantidade de nutrientes que podem ser efetivamente aplicados às folhas (Rosolem, 2002).

Esses resultados destacam a importância de uma abordagem integrada na fertilização, considerando não apenas os nutrientes individuais, mas também suas interações no solo e nas plantas, para garantir um crescimento saudável e produtivo das plantas de macieira 'Gala'. Os atributos de qualidade físico-químicos da maçã podem ser influenciados pela pré-colheita e nutrição mineral dos frutos e folhas. Os papéis dos nutrientes N, P, K e Ca são mais frequentemente estudados porque se correlacionam mais fortemente com a qualidade, distúrbios fisiológicos e rendimento dos frutos (Fallahi *et al.*, 2010).

Figura 2 - Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), e magnésio (E) nas folhas da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



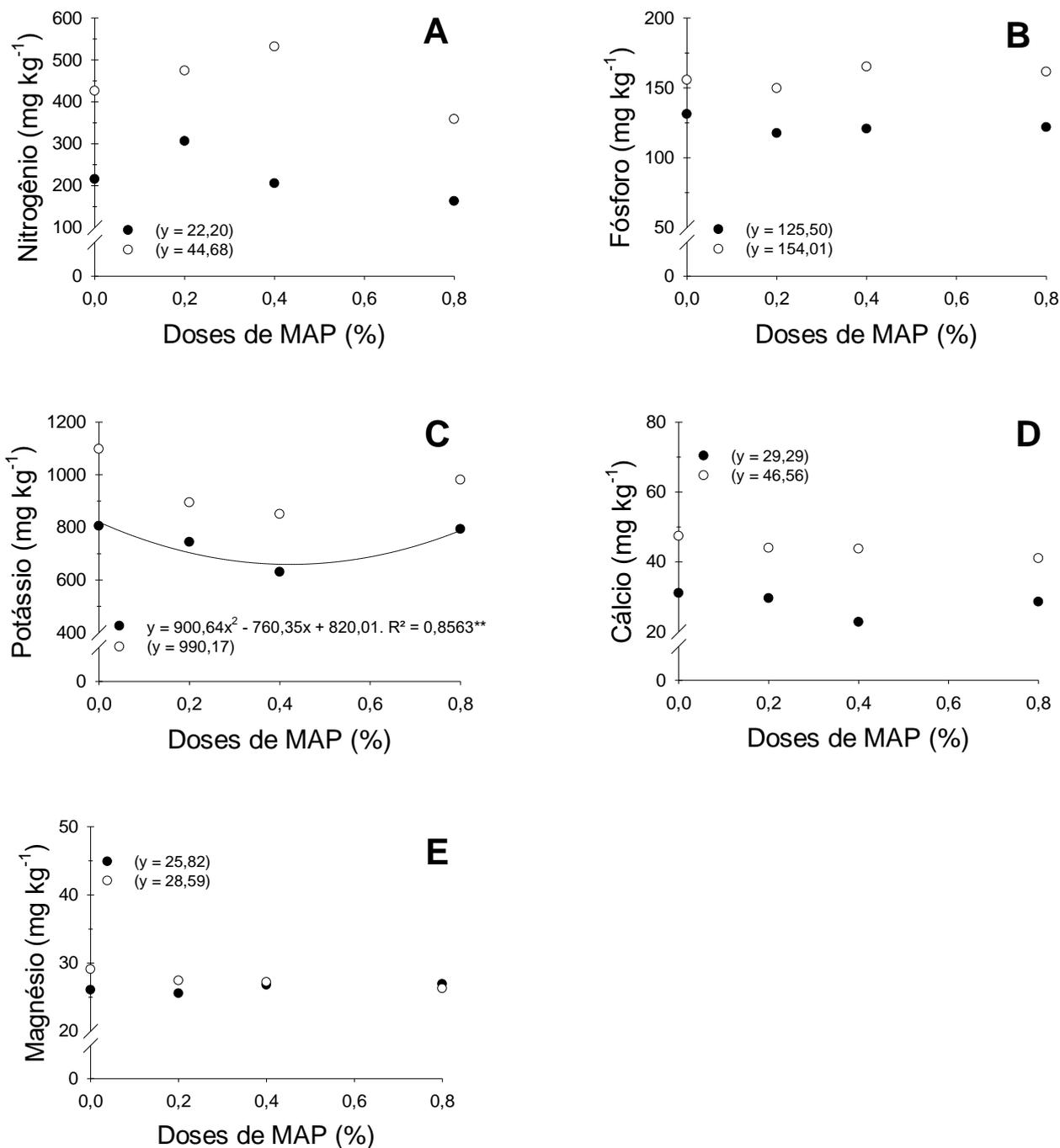
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $**1\%$  de significância;  $*5\%$  de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A composição mineral da polpa dos frutos, em relação aos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio (Figura 3A, 3B, 3D, 3E) não foi afetada pela aplicação das doses de MAP em nenhuma das duas safras avaliadas. O potássio (Figura 3C), por outro lado, diminuiu com a aplicação das crescentes doses de MAP de forma quadrática na safra 2020/2021, onde o valor mínimo estimado seria obtido na dose de 0,42%, na safra 2021/2022 o K nas folhas não foi afetado pela aplicação foliar de MAP.

O K é o nutriente mais retirado pelos frutos e, portanto, é o mais requisitado durante a fase de produção, entretanto a sua maior concentração se encontra nos tecidos da casca (EMBRAPA, 2013). Os dados indicam que a absorção reduzida do potássio na polpa dos frutos pode estar relacionada competição de nutrientes, pois o K é um íon com efeitos antagônicos sobre a absorção e translocação do Mg e Ca. Além disto, a altos teores de nitrogênio podem reduzir o teor de potássio na planta. Esse efeito antagônico acontece devido à disputa pelos sítios de ligação nas raízes, nos quais o elemento presente em maior quantidade é absorvido com maior rapidez (Suzuki; Basso, 2006).

Ao consumir uma maçã sem casca, parte significativa dos minerais deixam de ser ingeridas. A composição mineral dos frutos não apenas afeta sua qualidade nutricional e os benefícios para o corpo humano, mas também influencia seu comportamento pós-colheita, podendo afetar sua suscetibilidade a distúrbios fisiológicos e sua capacidade de armazenamento (Amarante *et al.*, 2012; Schweitzer *et al.*, 2019).

Figura 3 - Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), e magnésio (E) na polpa dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



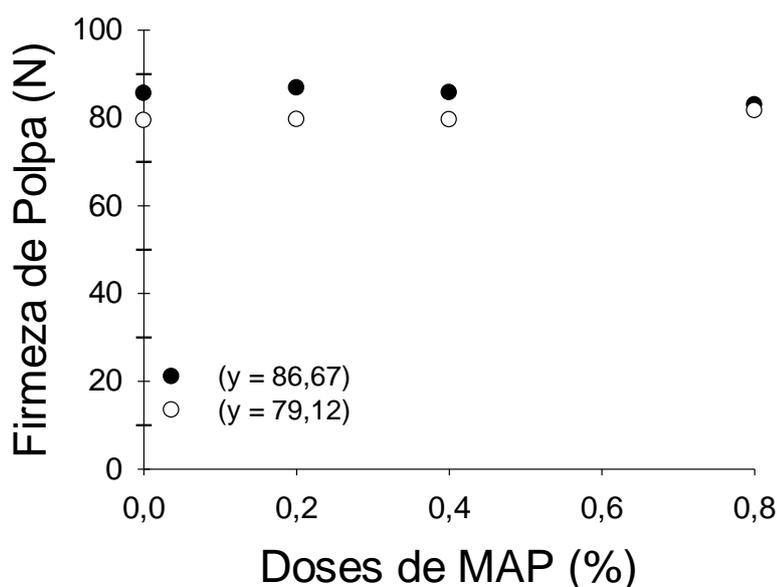
ns: não significativo (p>0,05). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A firmeza de polpa dos frutos, um dos principais fatores responsáveis pela conservação dos frutos, não foi afetada pela aplicação de MAP nas duas safras avaliadas, obtendo valores médios de 85,32 N, 80,10 N respectivamente (Figura 4).

Neilsen *et al.* (2008), não observaram diferença significativa para firmeza dos frutos em diferentes cultivares de maçã pela fertirrigação com fósforo. Entretanto, Raese (1998) realizou a aplicação de MAP e observou melhores valores de firmeza de polpa em maçã 'Golden Delicious', reforçando respostas diferentes da cultura da macieira em distintas condições.

Figura 4 - Firmeza de polpa dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○).



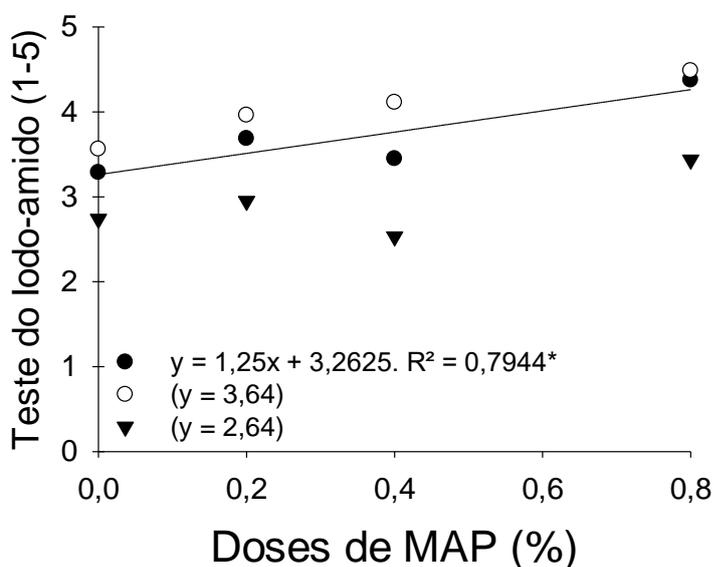
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.  
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O teste do iodo-amido (Figura 5) é utilizado para determinar o teor de amido presente na fruta, sendo utilizado amplamente para a determinação do ponto de maturação de frutas. Este parâmetro aumentou linearmente com o aumento da aplicação das doses de MAP, porém somente na safra 2020/2021. Ele passou de 3,29 na ausência de MAP, para 4,38 na maior dose aplicada. Durante a maturação da maçã, os amidos desaparecem quase completamente (Kaack; Pedersen, 2010) através da hidrólise em açúcares que são convertidos

ao piruvato durante a glicólise e depois a vários outros carboxílicos ácidos no ciclo de Krebs (Kaack; Pedersen, 2014). Logo, esse aumento representa frutos com a maturação bem desenvolvida. Nas demais safras, os valores de iodo-amido não apresentaram diferença entre as doses de MAP.

O fósforo desempenha um papel estrutural fundamental em moléculas como o RNA, DNA e fosfolipídios. Além disso, está envolvido na transferência de energia durante processos como a glicólise e atua como regulador na síntese de amido (Marschner, 2005). Logo, a aplicação de doses crescentes de MAP sugere uma aceleração no processo de maturação dos frutos, ocasionando elevada concentração de amido, redução da acidez titulável, aumento da respiração e incremento da cor vermelha dos frutos.

Figura 5 - Valores do teste do iodo-amido dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.  
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os sólidos solúveis (SS) (Figura 6A) diminuíram com a aplicação de doses crescentes de MAP em duas das três safras. Na safra 2020/2021, o valor mínimo seria obtido com a dose de 0,28% e na safra 2022/2023 com a

dose de 0,55%. Na safra 2021/2022 os SS não foram afetados pela aplicação de MAP.

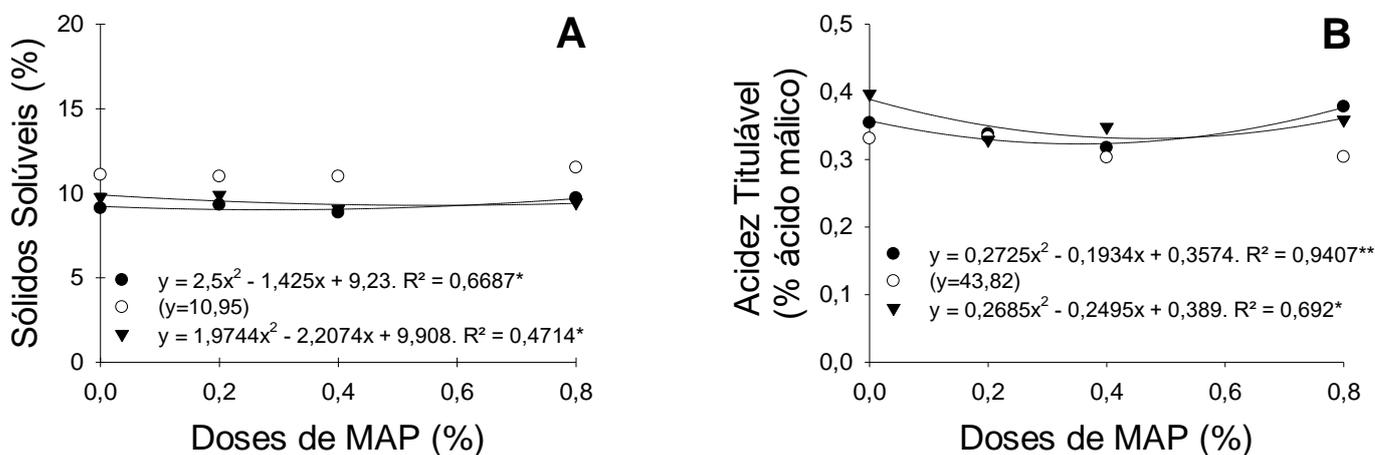
A acidez titulável (AT) é expressa em % de ácido málico. Ela também diminuiu em duas das três safras avaliadas (Figura 6B). Na safra 2020/2021, o valor mínimo estimado 0,32% seria atingido com a dose de 0,35% e na última safra com a dose de 0,46%. Na safra 2021/2022 a AT não foi afetada pela aplicação de MAP.

A acidez titulável dos frutos está diretamente relacionada ao teor de ácido orgânico, que diminui durante a maturação devido à ação das enzimas poligalacturonase e  $\alpha$ - e  $\beta$ -galactosidase. Essas enzimas hidrolisam carboidratos e componentes da parede celular em compostos mais simples e solúveis em água, de baixo peso molecular (Chitarra; Chitarra, 2005).

Como houve a redução de P nos tecidos de folha, é possível que a redução dos atributos de sabor (SS e AT), tenham sido reduzidos em função da necessidade dos ácidos orgânicos e carboidratos.

Em outras culturas com frutos climatéricos, como o tomate, também foram observadas variação do °Brix e da AT onde foram usados diferentes doses e formas de aplicação de fósforo. Oke *et al.* (2005) e Pinto (2017) não observaram diferença nesses atributos na cultura do tomateiro. Entretanto, Sobrinho (2020) obteve aumento dos SS e AT, aplicando doses crescentes de MAP, na cultura do tomate.

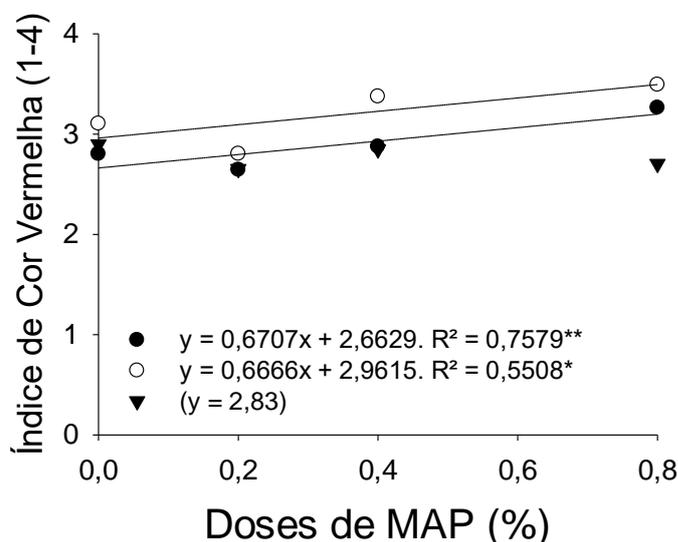
Figura 6 - Sólidos solúveis (SS) (A) e Acidez Titulável (AT) (B) dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}$ 1% de significância;  $^*$ 5% de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Observou-se, que na avaliação do ICV (Figura 7), as duas primeiras safras tiveram comportamentos similares, onde a cor vermelha aumentou linearmente de 2,8 para 3,26 (safra 2020/2021) e 3,11 para 3,49 (safra 2021/2022) com o aumento das doses de MAP pulverizadas. Na última safra (2022/2023), não houve diferença entre as doses de MAP. A aplicação de taxas crescentes de fosfato monoamônico contribuiu para o incremento da cor vermelha dos frutos de macieira (Raese, 1998). Por outro lado, Neilsen *et al.* (2008), não observaram diferença significativa para a coloração vermelha dos frutos em diferentes cultivares de maçã pela fertirrigação com fósforo.

Figura 7 - Índice de Cor Vermelha (ICV) dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $**1\%$  de significância;  $*5\%$  de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

No lado mais vermelho dos frutos, houve redução linear da luminosidade de 66,73 para 59,06 com o aumento das doses de MAP aplicadas, porém somente na safra 2020/2021, onde o valor médio foi de 64,98. A intensidade da coloração dos frutos (Figura 8B) não foi afetada pelas doses de MAP. A tonalidade dos frutos (ângulo  $h^\circ$ ) diminuiu linearmente de 78,74 para 58,16 com o aumento das doses de MAP aplicadas, na safra 2020/2021, apresentando valor médio de 74,08. Menores valores de  $h^\circ$ , associados a redução dos valores de  $L$  indicam o incremento de cor vermelha mais intensa (Figura 8C).

Nas maçãs a cor vermelha da casca é um importante parâmetro de qualidade, pois frutos com coloração vermelha intensa pode atingir valores de mercado mais elevados. A coloração do fruto é específica da cultivar e é uma importante característica reprodutiva. As substâncias responsáveis pela coloração vermelha das frutas são classificadas como antocianinas, que fazem parte do grupo dos flavonoides (Veberič *et al.*, 2016).

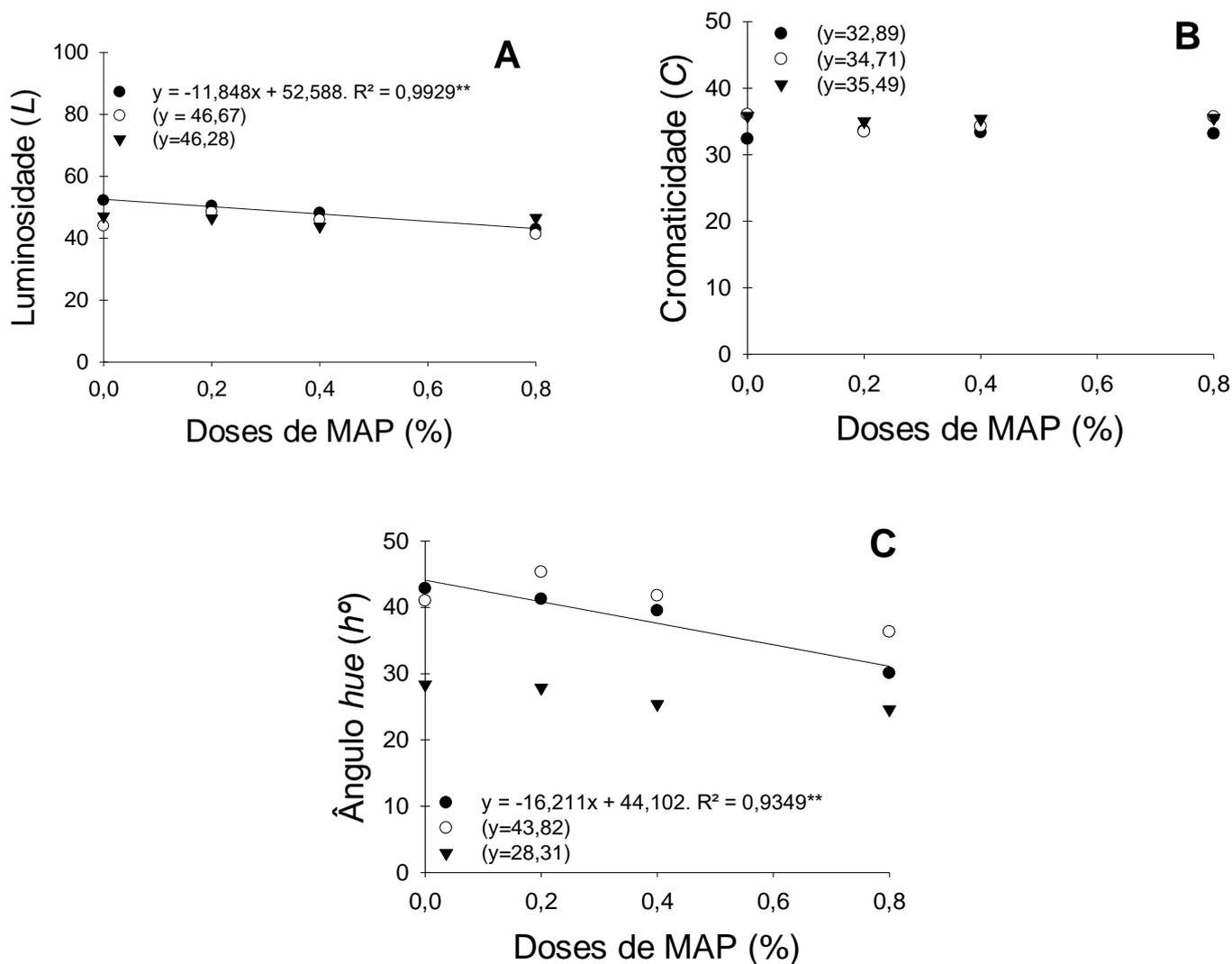
O fósforo aplicado em pré-colheita tem influência na coloração do tomate. O teor deste nutriente pode variar também de espécie para espécie ou dentro de uma mesma espécie (Chitarra; Chitarra, 2005).

Um exemplo é a maior presença de antocianinas nas folhas de acordo com a quantidade de P disponível a elas. Algumas espécies podem produzir excesso de antocianinas sob deficiência de fósforo, dando às folhas uma coloração levemente purpúrea (Taiz; Zeiger, 2017) devido ao translocamento de P das folhas mais velhas para as folhas jovens e frutos (Silva *et al.*, 2003). A coloração vermelha na epiderme de maçã é devido a presença de cianidina 3-glicosídeo, sendo considerada a principal antocianina presente em genótipos vermelhos ou parcialmente vermelhos (Vieira *et al.*, 2009).

Quando há menor presença de fósforo nas folhas, a planta passa a produzir mais antocianinas nas folhas e assim, devido à maior presença desse pigmento, passa a refletir mais nesse comprimento de onda (Magalhães *et al.*, 2019).

Paliyath *et al.* (2002) conduziram um estudo sobre os efeitos da adição de fósforo no solo e foliar na qualidade pós-colheita de maçãs 'McIntosh' e 'Red Delicious'. Foi constatado que a aplicação de fósforo aumentou o incremento da cor vermelha na casca dos frutos em ambas as cultivares durante a colheita. Além disso, observaram que os frutos do lado pulverizado das árvores, que foram submetidos a tratamentos foliares com fósforo e magnésio ou fósforo e cálcio, desde a floração até uma semana antes da colheita comercial, apresentaram uma coloração vermelha mais intensa em comparação com os frutos do lado não pulverizado.

Figura 8 - Valores de Luminosidade ( $L$ ) (A), Cromaticidade ( $C$ ) (B) e Ângulo  $hue$  ( $h^\circ$ ) (C) do lado mais vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}1\%$  de significância;  $^*5\%$  de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A coloração dos frutos do lado com menos exposição à luz (Figura 9) variaram com as safras. Na safra 2020/2021 houve aumento nos valores de  $L$  com o aumento das doses de MAP, se adaptando ao modelo quadrático, onde o valor máximo estimado seria obtido com a dose de 0,17%. No ano seguinte (2021/2022), os valores de  $L$  reduziram de 64,35 para 59,90 com o aumento da dose de MAP aplicada e na safra 2022/2023 não houve diferença para as doses de MAP (Figura 9A).

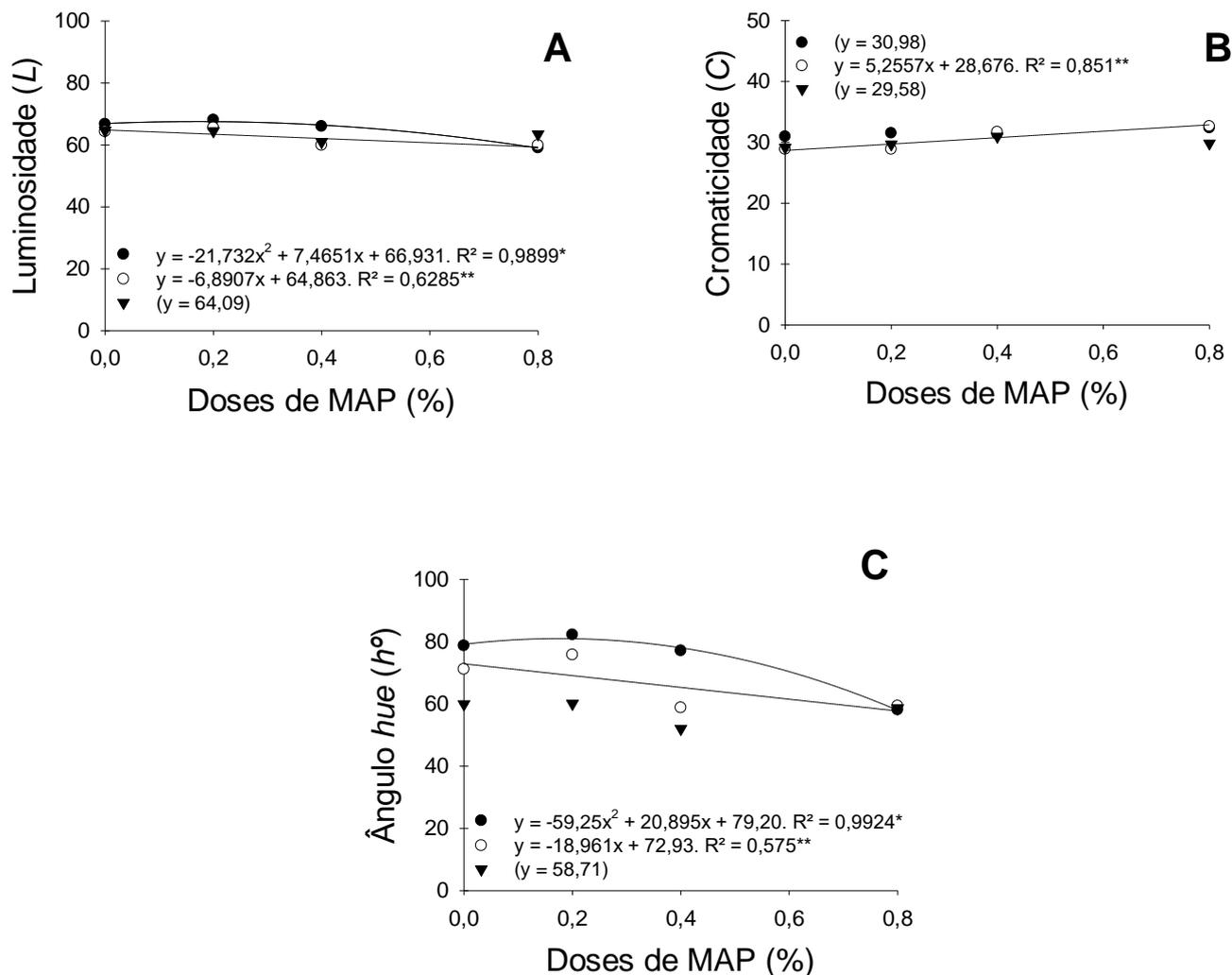
O valor de saturação dos frutos (Figura 9B), que é representado pelo croma ( $C$ ), não foi afetado pelos tratamentos nas safras 2020/2021 e 2022/2023. Na safra 2021/2022 ocorreu o aumento dos valores de  $C$  com o aumento das doses de MAP aplicadas. Ele passou de 28,86 na ausência de MAP para 32,64 na maior dose aplicada.

A tonalidade da cor dos frutos também variou entre as safras (Figura 9C). Na safra de 2020/2021, ocorreu aumento quadrático dos valores de  $h^\circ$  com a aplicação de diferentes doses de MAP, onde o valor máximo estimado seria obtido com a dose de 0,17%. Na safra seguinte, os valores de  $h^\circ$  diminuíram linearmente de 71,21 para 59,38 com o aumento das doses de MAP aplicado, e na última safra não houve diferença estatística entre os tratamentos para o valor do ângulo  $hue$ , onde o valor médio foi de 57,72.

Em maçãs vermelhas, a alteração da cor é observada na face com menor exposição solar ou entre as estrias avermelhadas (cor de fundo), onde há menor acúmulo de antocianinas. Em maçãs 'Gala', a taxa de degradação de clorofila pode ser mais rápida que a taxa de síntese de carotenoides. Nesses casos, a fase em que há uma mínima presença de clorofila e carotenoides é indicada por uma tonalidade creme claro, geralmente representando o momento ideal para a colheita (Faoro, 2022).

Fica evidente que a aplicação de doses crescentes de MAP influenciaram no processo de amadurecimento dos frutos de maçã 'Gala', uma vez que a presença do fósforo neste fertilizante atua em diversos processos metabólicos como respiração e fotossíntese, estimulando desenvolvimento das raízes, floração e acelerar a maturação.

Figura 9 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo 'hue' ( $h^\circ$ ) (C) do lado menos vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●),2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}1\%$  de significância;  $^*5\%$  de significância.  
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A taxa respiratória (Figura 10A) dos frutos também variou entre as safras. Ela diminuiu com o aumento das doses de MAP aplicadas na safra 2020/2021, onde o valor mínimo estimado seria obtido com a dose de 0,25%. No ano seguinte (safra 2021/2022), a taxa respiratória aumentou com as

crecentes doses de MAP, onde o valor máximo seria obtido com a dose de 0,57%. Na última safra (2022/2023), não houve diferença estatística entre os tratamentos, onde o valor médio foi de 228,45 nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

A produção de etileno a partir dos frutos, não foi afetada pela aplicação de MAP em nenhum dos dois anos avaliados, onde os valores médios de produção foram de 51,08 pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> (safra 2020/2021) e 48,21 pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> (safra 2022/2023) (Figura 10B).

Durante a maturação das maçãs, a síntese de etileno é desencadeada pelo ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), um precursor importante (Marschner, 2005). Conforme os amidos se degradam em açúcares durante a maturação, passando pela glicólise até se transformarem em diversos ácidos carboxílicos no ciclo de Krebs, ocorre a produção do precursor da metionina, que por sua vez é convertido em etileno (Marschner, 2005; Kaack; Pedersen, 2010). Esse processo explica a relação positiva entre a presença de potássio, que atua como catalisador de várias atividades enzimáticas, e a síntese de etileno nas maçãs, resultando na diminuição dos sólidos solúveis (Kaack; Pedersen, 2014).

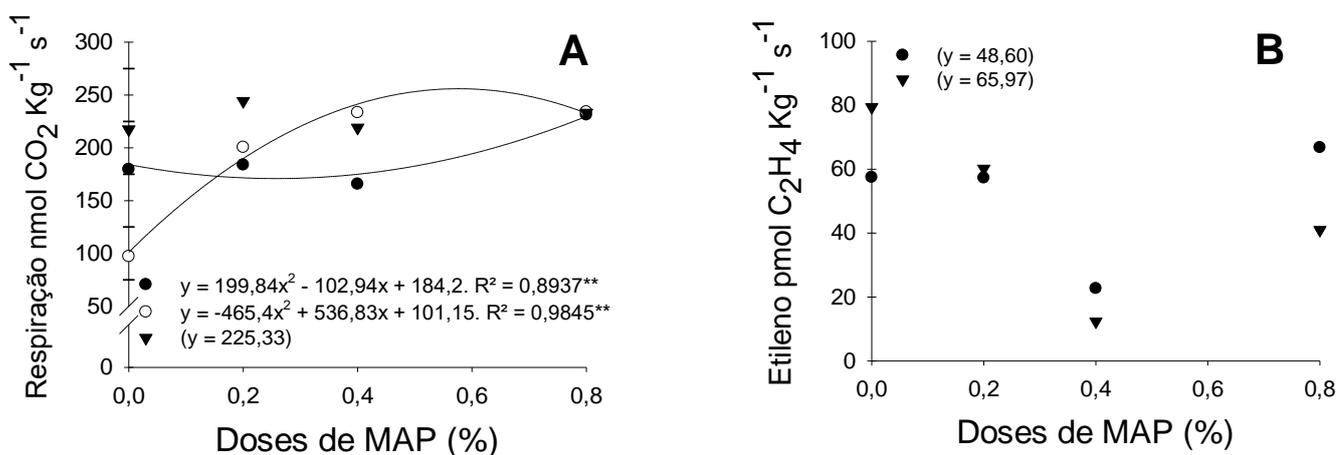
Condições climáticas como temperaturas elevadas ou baixa luminosidade, comuns em dias nublados, fazem com que ocorra a redução na produção de assimilados devido à baixa luminosidade e ao aumento do consumo devido à alta taxa respiratória em temperaturas elevadas. Combinado com a intensa demanda por assimilados pela planta nessas condições climáticas (Marchioretto, 2018). As primeiras duas safras foram marcadas por escassez de chuva (safra 2020/2021) e onda de calor (safra 2021/2022), conforme apresentado na Figura 11.

Outro fator a levar em consideração é que o MAP, também, possui nitrogênio em sua composição e a área recebeu adubação de manutenção de N e K, Fallahi *et al.*, (2010) explicam que frutos com altos níveis de N apresentam maior taxa de respiração. Chitarra (1998) completa que a capacidade de armazenamento das maçãs está ligada à intensidade da taxa respiratória, que quanto mais alta, menor será o tempo de armazenamento.

A alternância dos dados pode ser justificada pelas variações climáticas (Figura 11), visto que foram observados escassez de chuvas durante o período de crescimento dos frutos, especialmente na fase final de desenvolvimento dos

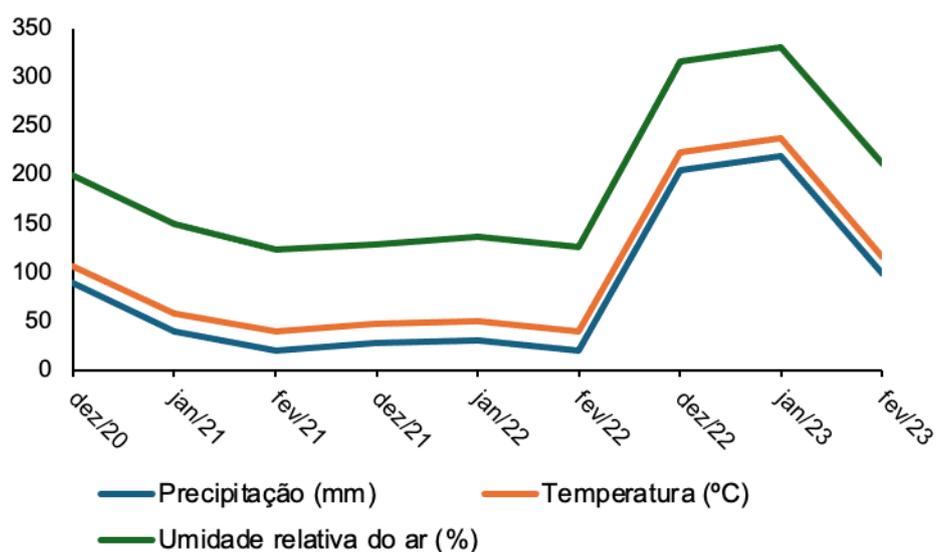
frutos, próxima à maturação, que pode ser prejudicial devido ao aumento da respiração dos frutos.

Figura 10 - Valores da taxa respiratória ( $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) (A) e produção de etileno ( $\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) dos frutos da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●),2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}1\%$  de significância;  $^*5\%$  de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 11 - Dados de precipitação (mm), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%) das safras 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023.

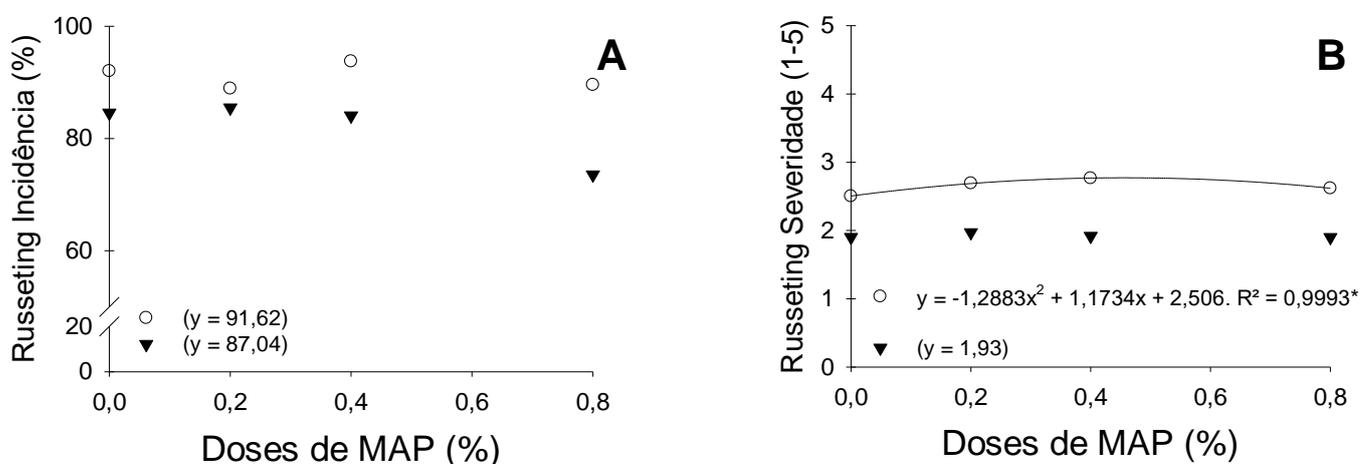


Fonte: Adaptado INMET (2024).

Quanto à incidência de “russeting”, não houve diferença estatística entre os tratamentos nos dois anos avaliados, obtendo valores médios de 91 e 81%, respectivamente (Figura 12A). Quanto à severidade, houve redução do “russeting” de 0,62% para 0,53% com o aumento das doses de MAP aplicadas, onde o valor mínimo estimado seria obtido com a dose de 0,27% para a safra de 2021/2022, e o valor médio é de 0,66. No ano seguinte (safra 2022/2023) ocorreu o inverso, ou seja, houve aumento da severidade do “russeting” de 1,5 % para 1,77% com o aumento das doses aplicadas, cujo valor máximo seria alcançado com a dose de 0,45%, apresentando valor médio de 1,65 (Figura 12B).

O “russeting” da maçã é resultado da formação de uma camada de cortiça nas células da epiderme, causada principalmente por fatores externos que provocam fissuras na cutícula do fruto, expondo as células subjacentes (Camilo; Denardi, 2001). A cultivar Gala tem suscetibilidade ao “russeting”, onde o seu grau varia de ano para ano (Basso, 2006). A aplicação de MAP pode ter contribuído com o surgimento deste distúrbio fisiológico, pois contém em sua composição nutrientes que se em altas concentrações podem afetar a integridade da cutícula do fruto, tornando-o propenso a fissuras e à formação da camada de cortiça.

Figura 12 - Incidência (A) e severidade (B) de “russeting” dos frutos de macieira da cultivar Galaxy em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

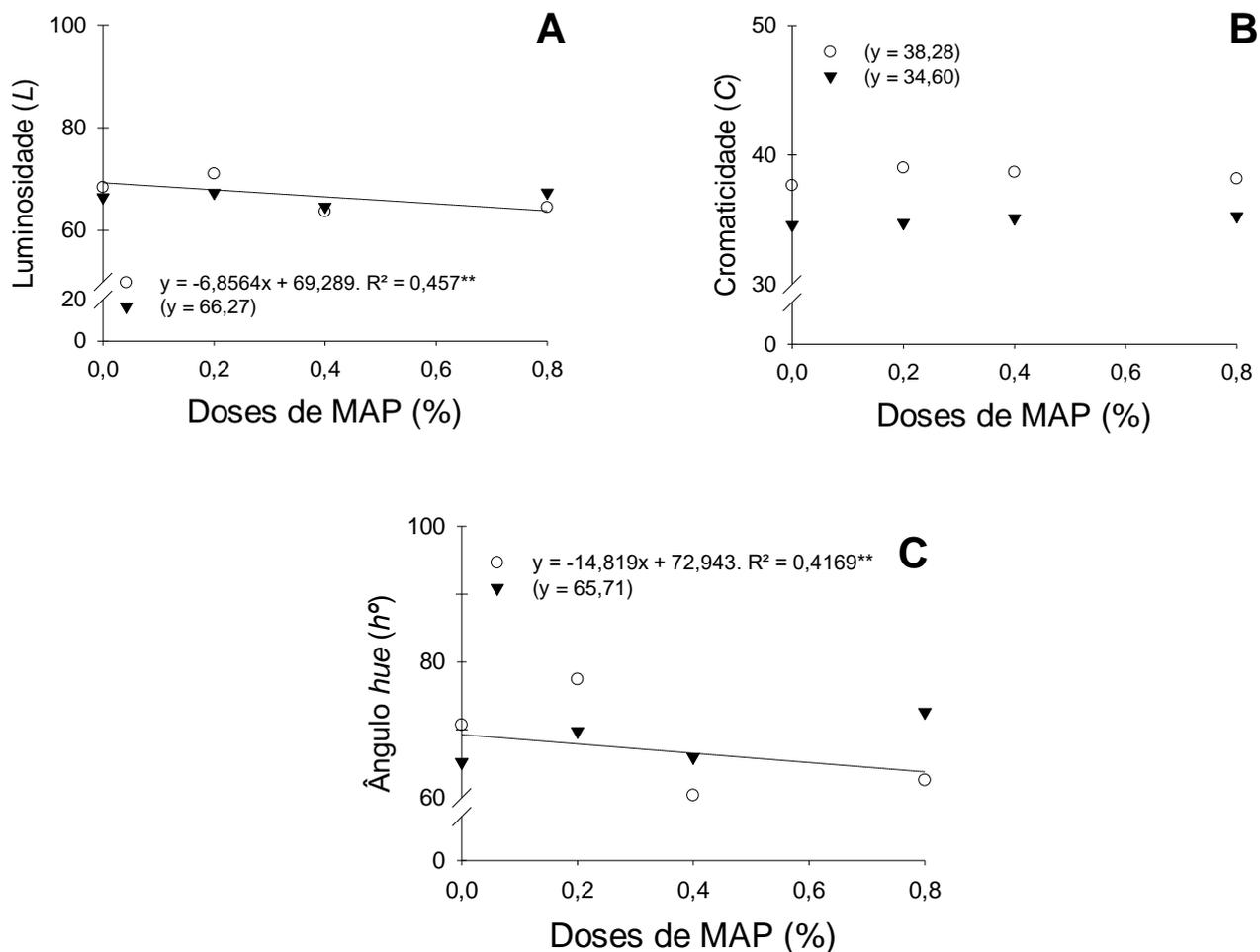
## 4.2 AVALIAÇÕES PÓS-ARMAZENAMENTO

### 4.2.1 Dados após o armazenamento refrigerado (AR)

As avaliações realizadas pós-armazenamento dos frutos foram divididos em dois momentos. Na saída da câmara fria foram feitas análises visuais e sete dias depois, esses mesmos frutos foram avaliados para estimar a vida de prateleira, mantidos a 20 °C.

Observou-se que na safra 2021/2022 houve a redução linear da luminosidade de 68,39 para 64,47 (valores de  $L$ ) e da tonalidade de 70,69 para 62,57 (valores de  $h^{\circ}$ ) (Figura 13 A e D) com o aumento das doses de MAP aplicadas, onde os valores médios foram de 66,89 ( $L$ ) e 67,76 ( $h^{\circ}$ ). Na safra de 2022/2023, os valores de  $L$  e  $h^{\circ}$  não foram afetados pelas doses de MAP e obtiveram valores médios de 66,46 e 68,40, respectivamente. Não houve influência dos tratamentos para cromaticidade (valores de  $C$ ) na saída do AR, onde os valores médios da safra 2021/2022 foram de 38,36 e 34,91 para a safra 2022/2023 (Figura 13B).

Figura 13 - Valores de Luminosidade (L) (A), Cromaticidade (C) (B) e Ângulo hue ( $h^\circ$ ) (C) do lado menos vermelho dos frutos de macieira da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras



2021/2022 ( $\circ$ ) e 2022/2023 ( $\blacktriangledown$ ).

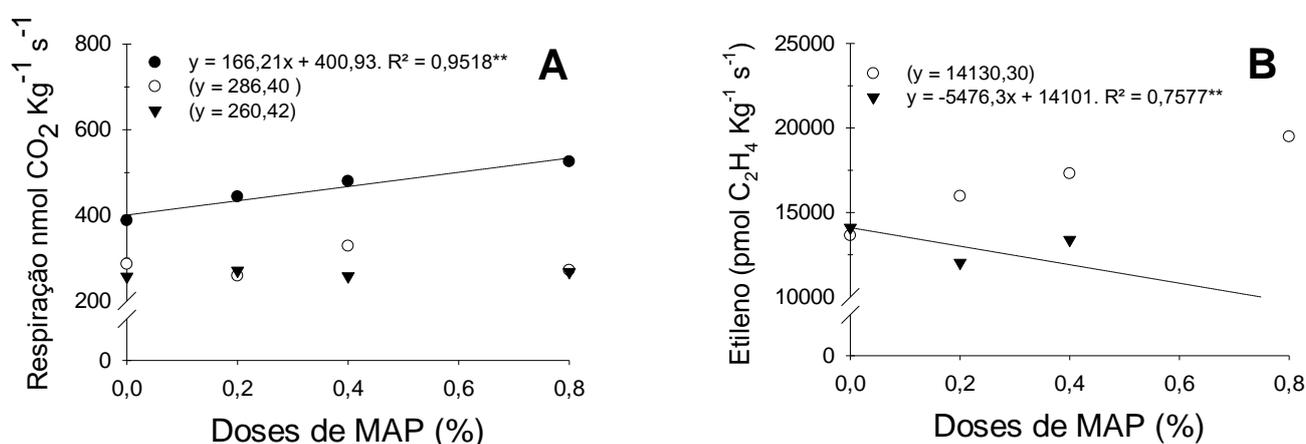
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}1\%$  de significância;  $^*5\%$  de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A taxa respiratória aumentou linearmente de 387,6 para 525,3  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$  com a aplicação de doses crescentes de MAP, na safra 2020/2021, onde a taxa média foi de 459,1  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Não houve diferença estatística para a taxa respiratória nas safras de 2021/2022 e 2022/2023, onde os valores médios foram de 286  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e 263,2  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 14A).

A produção de etileno, na safra 2021/2022, não apresentou influência das aplicações de diferentes doses de MAP, onde a produção média foi de 19487 pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Na safra 2022/2023, houve a redução linear da produção de etileno de 14102 para 13379 pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, com o aumento das doses de MAP aplicadas (Figura 14B).

Figura 14 - Taxa respiratória (nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (A) e produção de etileno (pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $**1\%$  de significância;  $*5\%$  de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

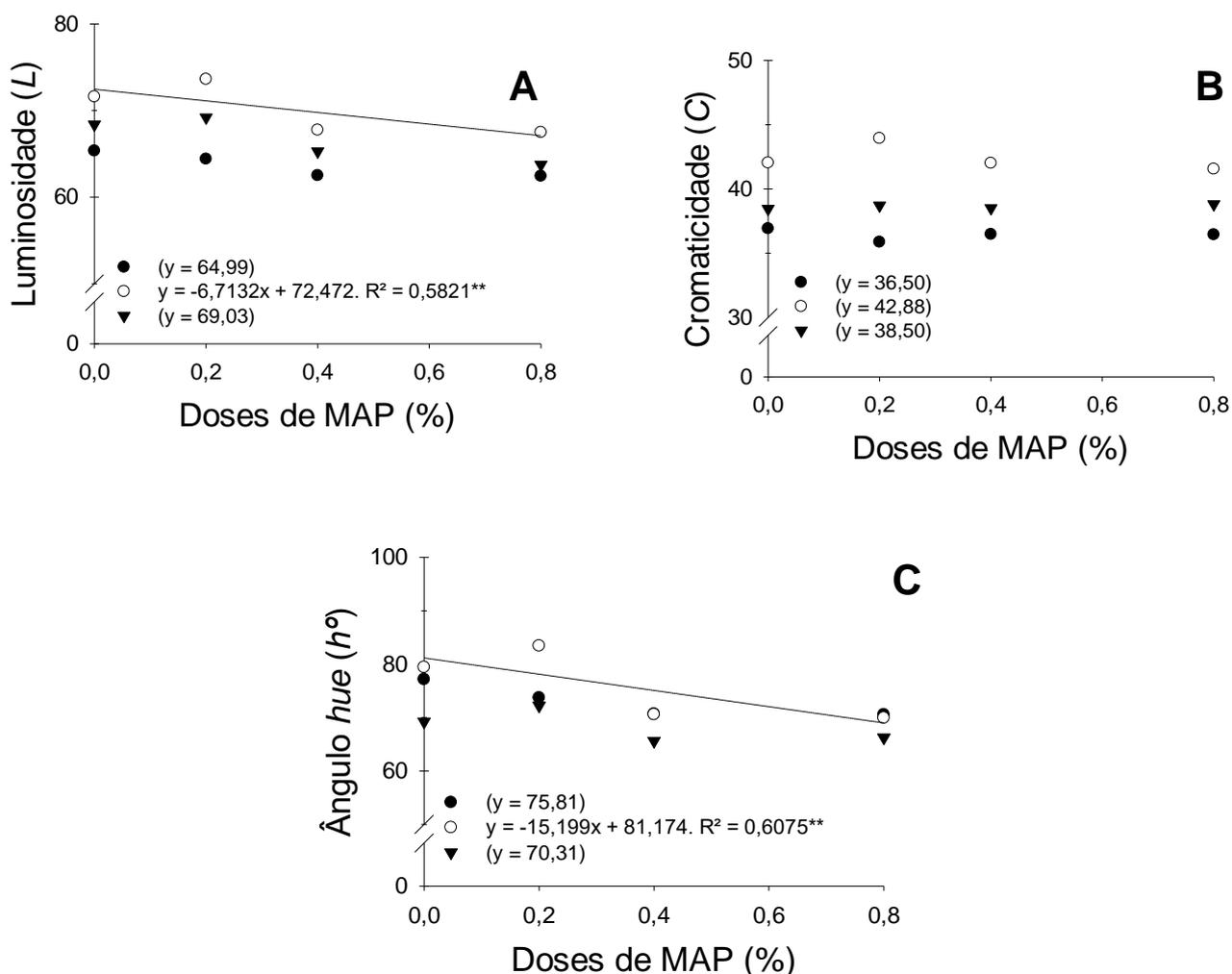
#### 4.2.2 Dados da saída do armazenamento refrigerado (AR) após 7 dias de vida de prateleira

As análises feitas na saída do AR foram refeitas após sete dias de vida de prateleira. O comportamento em relação à coloração dos frutos foi similar ao observado por ocasião da saída do AR (Figura 13).

Na safra 2021/2022, observam-se frutos onde a cor flutua do amarelo para o vermelho claro (Figura 15A e C), pois quanto menor os valores de  $h^o$  mais vermelhos são os frutos. A redução linear dos valores de  $L$  de 65,3 para 62,43 e  $h^o$  de 77,17 para 70,57 indica que o aumento das doses de MAP

deixaram os frutos com a coloração de fundo do verde para o amarelo creme com rajadas vermelhas, característica desta cultivar. Não houve diferença entre os tratamentos para  $L$  e  $h^{\circ}$  na safra 2022/2023 e para a cromaticidade nos três anos de avaliação (Figura 15B). Mesmo após 7 dias de vida de prateleira, a coloração apresentou comportamento similar ao da saída do armazenamento, indicando que a aplicação de MAP foliar fez com que a cor de fundo se desenvolvesse mais entre os anos de avaliação.

Figura 15 - Valores de Luminosidade ( $L$ ) (A), Cromaticidade ( $C$ ) (B) e Ângulo  $hue$  ( $h^{\circ}$ ) (C) do lado menos vermelho dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônio (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



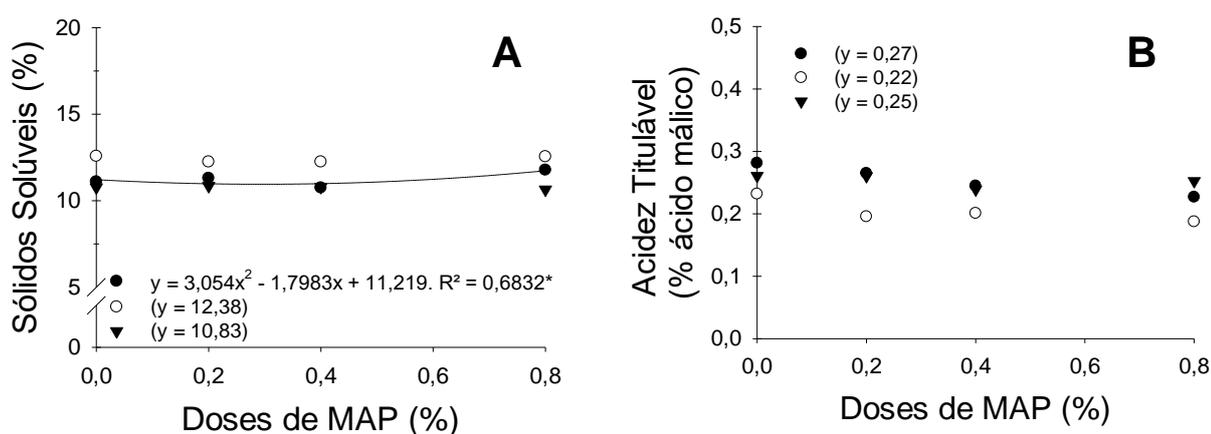
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}$ 1% de significância;  $^{*}$ 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O valor dos SS diminuiu de forma quadrática com o aumento das doses de MAP aplicadas na avaliação realizada após o armazenamento refrigerado dos frutos com sete dias de vida de prateleira (Figura 16A), onde o valor mínimo estimado seria obtido na dose de 0,29%, na safra 2020/2021. Nas demais safras, a aplicação de MAP não afetou os valores de SS dos frutos, onde os valores médios foram de 12,4% (safra 2021/2022) e 10,7% (2022/2023). O aumento das doses de MAP não influenciaram na AT nas três safras avaliadas, onde os valores médios foram de 0,25%, 0,20% e 0,25%, respectivamente (Figura 16B).

Argenta *et al.* (2021) não encontraram diferença significativa para SS e AT ao comparar diferentes cepas de ‘Gala’ na colheita e no armazenamento refrigerado. Isso indica, que a redução de SS e AT se manteve desde a colheita em função da demanda dos ácidos orgânicos e carboidratos, como relatado anteriormente.

Figura 16 - Valores de sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônio (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



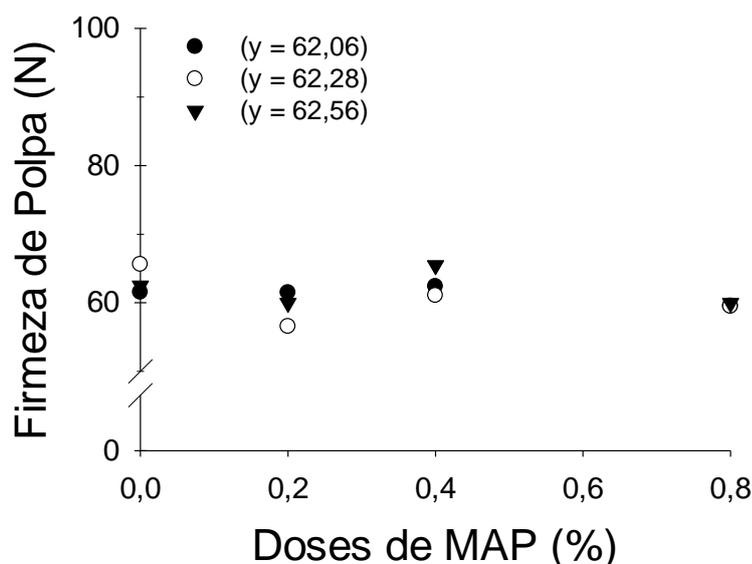
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A aplicação de MAP não influenciou a firmeza de polpa dos frutos na saída do armazenamento refrigerado com sete dias de vida de prateleira a 20 °C (Figura 17), nas três safras avaliadas, apresentando valores médios de 61,2 N, 60,6 N e 61,9 N, respectivamente.

Argenta *et al.* (2021) não encontraram diferença significativa para firmeza de polpa ao comparar diferentes cepas de 'Gala' na colheita e no armazenamento refrigerado.

Figura 17 - Firmeza de polpa dos frutos da cultivar Galaxy avaliada na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão: \*\*1% de significância; \*5% de significância.  
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

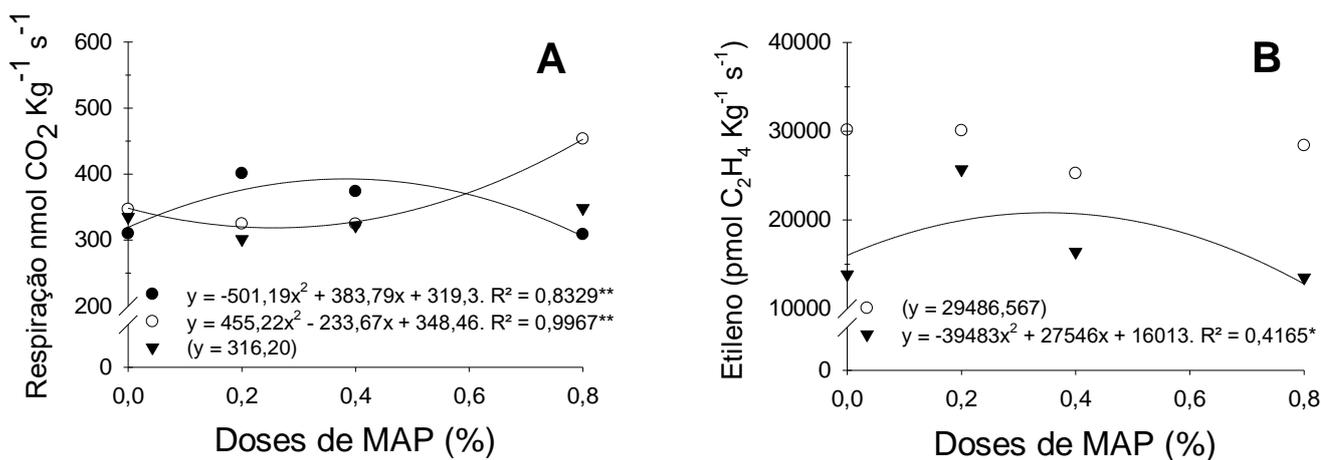
A taxa respiratória dos frutos variou entre as safras. Ela aumentou com as doses de MAP aplicadas na safra de 2020/2021, onde o valor máximo estimado seria obtido com a dose de 0,38%, onde o valor médio foi de 348,3  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . No ano seguinte, ocorreu a redução da taxa respiratória com o aumento das doses de MAP aplicadas, atingindo o valor mínimo com a dose de 0,25%, onde o valor médio foi de 362,2  $\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Na safra 2022/2023 não houve diferença entre as doses de MAP (Figura 18A).

Devido a fase do experimento ficar exposto em temperatura mais elevada que a câmara fria era esperado o aumento da sua taxa respiratória comparado com os dados de colheita.

A produção de etileno não foi afetada pelo aumento da dose de MAP no primeiro ano avaliado (2021/2022). Na safra seguinte (2022/2023), a produção de etileno aumentou com a aplicação das crescentes doses de MAP, onde o valor máximo seria obtido com a dose de 0,34% (Figura 18B), resultando na produção média de etileno de 17362 pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

Em maçãs, a produção de etileno, é iniciada a partir do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), conforme indicado por Marschner (2005). Esse processo resulta em um aumento gradual da concentração de etileno no núcleo da maçã, seguindo um padrão de curva S, como mencionado por Karoulanis e Dilley (1993) e Stow *et al.* (2000).

Figura 18 - Taxa respiratória (nmol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (A) e produção de etileno (pmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (B) dos frutos da cultivar Galaxy avaliados na saída do armazenamento refrigerado (AR) com sete dias de vida de prateleira em função da aplicação foliar de doses crescentes de fosfato monoamônico (MAP) nas safras 2020/2021(●), 2021/2022 (○) e 2022/2023 (▼).



ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Regressão:  $^{**}$ 1% de significância;  $^*$ 5% de significância.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2024).

## 5. CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses crescentes de MAP via foliar, em pré-colheita, afetou a qualidade dos frutos, resultando na redução dos teores de sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT), sem impactar a firmeza da polpa, porém aumentando a coloração vermelha e respiração dos frutos.
2. A aplicação de doses crescentes de MAP via foliar acelerou o processo de maturação dos frutos, podendo, portanto, ser utilizado como uma estratégia de comercialização dos frutos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados da aplicação de fosfato monoamônico (MAP) na colheita, pode-se inferir que sua influência nas características dos frutos é distinta e depende da variável analisada. Enquanto houve um aumento gradual na cor vermelha dos frutos com o aumento das doses de MAP, não foram observados efeitos significativos na área foliar e na firmeza da polpa. Além disso, apesar das doses terem diminuído os sólidos solúveis e a acidez titulável em duas das três safras, os efeitos na frequência respiratória foram diferentes entre as safras, sendo que em uma delas houve aumento linear na frequência respiratória com o aumento das doses aplicadas. A utilização de MAP não teve impacto na produção de etileno.

Após o armazenamento refrigerado, não houve efeito na firmeza da polpa, mas houve aumento na degeneração dela em uma safra com o aumento das doses de MAP. Os resultados evidenciam a complexidade das interações entre a aplicação de MAP e as propriedades dos frutos, sugerindo a importância de levar em conta as doses e as condições específicas de cultivo para alcançar os objetivos desejados.

Observou-se que a aplicação de doses crescentes de MAP acelerou o processo de maturação dos frutos. Esta prática pode ser uma estratégia benéfica para os produtores, permitindo-lhes lidar com as variações climáticas e entregar frutos de alta qualidade ao consumidor e ao mercado externo.

É importante ressaltar, que para estudos futuros com aplicação de MAP via foliar, deve-se considerar outras regiões produtoras, uma vez que este experimento foi conduzido com uma única cultivar e com as mesmas condições de solo e clima. Há poucos estudos avaliando o efeito da aplicação de fósforo via foliar na qualidade dos frutos de macieira. Portanto, tais recomendações são com o intuito para que haja resultados mais concretos em relação ao efeito deste fertilizante para a cultura da macieira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Maçã Brasileira: conheça as diferenças entre fuji e gala.** 2022. Disponível em: <https://www.abpm.org.br/maca-e-tudo-de-bom/maca-brasileira-conheca-as-diferencas-entre-fuji-e-gala#:~:text=Sua%20forma%20redonda%20com%20base,preparo%20de%20saladas%20e%20molhos>. Acesso em: 15 de out. de 2022.
- AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; MOTA, C.S.; SANTOS, H.P. Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras 'Royal Gala' cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.925-931, 2007.
- AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.; MIQUELOTO, A.; ZANARDI, O.Z.; SANTOS, H.P. Disponibilidade de luz em macieiras 'Fuji' cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura.**, v.31, n.33, p.664-670, 2009.
- AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A. & ARGENTA, L.C. Yield and fruit quality of 'Gala' and 'Fuji' apple trees protected by white anti-hail net. **Scientia Horticulture**, v.129, n.1, p.79-85, 2011.
- AMARANTE, C. V. T. do; ARGENTA, L. C.; BASSO, C.; SUZUKI, A. Composição mineral de maçãs 'Gala' e 'Fuji' produzidas no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 550-560, 2012.
- ANESE, R. O. **Fisiologia e pós-colheita em fruticultura.** – Santa Maria : UFSM, Colégio Politécnico:Rede e-Tec Brasil, 130 p. 2015.
- ARGENTA, L. C.; AMARANTE, C. V. T. do.; BRANCHER, T. L.; BETINELLI, K. S.; BARTINICK, V. A.; NESI, C. N. Comparison of fruit maturation and quality of 'Gala' apple strains at harvest and after storage. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n.1, 2021.
- BASSO, C. Distúrbios fisiológicos. IN: **A cultura da macieira.** Florianópolis, 743 p., 2006.
- BENATTI, J. A.; NAVA, G.; MAYER, N. A. Spad index for diagnosis of nitrogen status in 'Esmeralda' peach. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.43, n.1, p.1-6, 2021.
- BITTENCOURT, C. C.; MATTEI, L. F.; SANT'ANNA, P. R.; LONGO, O. C.; BARONE, F. M. A cadeia produtiva da maçã em Santa Catarina: competitividade segundo produção e 'packing house'. **Revista de Administração Pública**, v.45, n.4, p.1199-1222, 2011.
- BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M. & STEFFENS, C.A. Conservação da maçã 'Fuji' sob diferentes temperaturas, umidades relativas e momentos de

instalação da atmosfera de armazenamento. **Ciência Rural**, v.30, p.81-84, 2000.

BRACKMANN, A.; WEBER, A.; PINTO, J. A. V.; NEUWALD, D. A.; STEFFENS, C. A. Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2478-2484, 2008.

BRUNETTO, G.; TRENTIN, G.; CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; MIOTTO, A.; MOSER, G.R.Z.; MELO, G. W. de. Use of the SPAD-502 in estimating nitrogen content in leaves and yield in grapevines in soils with different texture. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, n.11, p.1546-1561, 2012.

CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Cultivares: Descrição e comportamento no sul do Brasil. IN: **A cultura da macieira**. Florianópolis, 743 p., 2006.

CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Efeito do carbaryl sobre o "russeting" da maçã (*Malus domestica* Borkh.), cultivares 'Gala', 'Fuji' e 'Golden Delicious'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, p.580-583, 2001.

CECHINEL, J. H. **Influência da irrigação e da fertirrigação no desenvolvimento da planta e na qualidade dos frutos de macieiras 'Kinkas' em São Joaquim**. (Dissertação – Mestrado) Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 71 f. 2016.

CEROVIC, Z.G.; GHOZLEN, N.B.; MILHADE, C.; OBERT, M.; DEBUISSON, S.; MOIGNE, M. Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual leaf-clip measurements in the field. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.63, n.14, p.3669-3680, 2015.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, FAEPE, 2005. 785p.

CHITARRA, M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BOREN, F.M. (Ed.). **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Lavras: Ufla/SBEA, p.1-57, 1998.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. 10 Ed: 376p. 2016.

CORRÊA, T. R.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; BRACKMANN, A.; SILVEIRA, J.P.G.; TANAKA, H. & BOTH, V. Qualidade de maçãs 'Fuji' armazenadas em atmosfera controlada e influência do clima na degenerescência da polpa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.531-538, 2010.

DOLEGA, E.K.; LINK, H. Fruit quality in relation to fertigation of apple trees. **Acta Horticulture**, v.466, p.109-114, 1996.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Maçã: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF, 239 p. 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Fósforo via foliar contribui**. Campos e Negócios, p.58-59, 2010.

ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de P pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.159-162, 1996.

ERNANI, P.R., DIAS, J.; FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.1291-1304, 2002.

FACHINELO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura fundamentos e práticas**. 183 f. 2008.

FACHINELLO, J. C.; PASA, M. S.; SCHMTIZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, n.109-120, 2011.

FALLAHI, E. F.; FALLAHI, B.; PERYEA, F. J.; NEILSEN, G. H.; NEILSEN, D. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. **Acta Horticulturae**, v.868, p.49-60, 2010.

FANTE, C. A.; BOAS, A. C. V.; COSTA, A. C.; SILVA, E. P.; OLIVEIRA, M. C. de.; LIMA, L. C. O. 1-MCP nos aspectos fisiológicos e na qualidade pós-colheita de maçãs Eva durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**, v.43, n.12, p.2142-2147, 2013.

FAORO, I. D. **Maçãs do grupo ‘Gala’ no Brasil**. Florianópolis:Epagri, 304 p., 2022.

FIORAVANÇO, J. C. Maçã brasileira: da importação à auto-suficiência e exportação – a tecnologia como fator determinante. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 3, p. 56-67, 2009.

HAWERROTH, F. J.; NACHTIGALL, G. R. **Manejo fitotécnico de pomares de macieira sob telas antigranizo**. Ginegar, p.1-3, 2018.

HAWERROTH, F. J.; NACHTIGALL, G. R. **Telas Antigranizo na Cultura da Macieira**. Projeto Appleplus. Embrapa Uva e Vinho, 2016.

GHARGHANI, A.; HOSSEINI, A. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of apple rootstocks in calcareous soil. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v.2. n.2, p.173-185, 2015.

GOMES, L. C.; NETO STEDILE, R. **A contribuição da cadeia produtiva da maçã na organização espacial de São Joaquim/SC**. XI SEUR – V Colóquio Internacional sobre Comércio e Consumo Urbano, p.1-9, 2015.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos.** 2024. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>. Acesso em: 12 de jul. 2024.

IPNI – International Plant Nutrition Institute. **4R Plant Nutrition. A manual for improving the management of plant nutrition.** Peachtree Corners, GA 30092 USA, 2016. 148 p.

JOHNSON, D. S.; YOGORATNAM, N. The effects of phosphorus sprays on the mineral composition and storage quality of Cox's Orange Pippin apples. **Journal of Horticultural Science**, S/L, 53: p. 171-178, 1978.

KAACK, K.; PEDERSEN, H. L. Effects of potassium, phosphorus and nitrogen fertilization on endogenous ethylene and quality characteristics of apples (*Malus domestica* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v.37, p.1148-1155, 2014.

KAACK, K.; PEDERSEN, H. L. Prediction of diameter, weight and quality of apple fruit (*Malus domestica* Borkh.) cv. 'Elstar' using climatic variables and their interactions. **European Journal of Horticultural Science**, v.75, p.60–70, 2010.

KAROULANIS, G. D.; DILLEY, D. Ethanol content of ripening apples (variety Mutsu) and ethylene production during storage under anaerobic conditions at room temperature. **International Journal of Refrigeration**, v.16, p.364–366, 1993.

KRIVOROT, A.M.; LOIKO, R.E. & YAROKHOVICH, L.M. Dynamics of apple fruits mineral content and its influence on shelf life in Belarus. **Acta Horticulture**, 466:127-132, 1996.

LEITE, G. B.; PETRY, J. L.; MONDARDO, M. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.3, p.714-716, 2002.

LJAVIĆ, D.; RADOVIĆ, M.; KULINA, M.; ZEJAK, D.; SPALEVIĆ, V.; KADER, S.; DUDIC, B.; MICHAEL, R. N.; CAMPBELL, J.; JAUFER, L.; GLIŠIĆ, I.; GLIŠIĆ, I. Influencer of cultivar and fertilization treatment on the yield and leaf nutrients content of apple (*Malus domestica* Borkh.). **Heliyon**, v.9, n.e16321, p.1-9, 2023.

LU, X-G.; MA, Y-P.; LIU, X-H. Effects of Maturity and 1-MCP Treatment on Postharvest Quality and Antioxidant Properties of 'Fuji' Apples during Longterm Cold Storage. **Horticulture Environment and Biotechnology**, v. 53, n. 5, p. 378-386, 2012.

MAGALHÃES, L. P de.; TREVISAN, L. R.; SOARES, L. S.; ANTONIO, R. I.; GOMES, T. M.; ROSSI, F. **Relação entre as cores refletidas e o teor de fósforo na folha de tomateiro do tipo grape.** XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, p.1-6, 2019.

MARCHIORETTO, L. R. **Eficácia e modo de ação de diferentes princípios usados como raleantes de floração em macieiras 'Fuji more'**. (Dissertação) Universidade do Estado de Santa Catarina, 97 f., 2018.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 2005.

MEYER, A.H.; WOOLDRIDGEA, J.; DAMES, J.F. Effect of conventional and organic orchard floor management practices on arbuscular mycorrhizal fungi in a 'Cripp's Pink'/M7 apple orchard soil. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v.213, p.114-120, 2015.

MONTEIRO, H. S. A.; BRITO, S. N. S.; BRONZE, A. B. S. **Panorama da produção de maçãs no Brasil**. Revista Campo & Negócios, 2023. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/panorama-da-producao-de-macas-no-brasil/#:~:text=No%20ano%20de%202021%2C%20a,da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20nacional%20de%20ma%C3%A7%C3%A3>. Acesso em: 28 de jun. 2024.

MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. F.; SHAHBAZI, S.; MIRJALILI, S. M. Integrated effect of gamma radiation and biocontrol agent on quality parameters of apple fruit: An innovative commercial preservation method. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 91, p. 193-199, 2013.

MUSA, C. I. **Caracterização físico-química de morangos de diferentes cultivares em sistemas de cultivo distintos no município de Bom Princípio/RS**. Tese (Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento). UNIVATES, 160p. 2016.

NATCHIGALL, G. R.; NAVA, G. **Adubação foliar: Fatos e mitos**. Embrapa, p.87-97, 2010.

NAVA, G.; BASSO, C.; NUENBERG, N.; MELO, G. W.; NACHTIGALL, G. R.; SUZUKI, A. **Fertilidade do solo e nutrição na produção integrada de maçã**. Circular técnica 33, Embrapa, p.1-15, 2002.

NAVA, G.; CIOTTA, M.N. Viabilidade do uso do SPAD no diagnóstico do Estado de Nitrogênio na macieira Fuji. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.12, n.1, p.13-20, 2013.

NAVA, G.; DECHEN, A. R. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affect yield and mineral composition of 'Fuji' apple. **Scientia Agricola**, v.66, n.3, p.377-385, 2009.

NAVA, G. **Nutrição e rendimento da macieira em resposta às adubações nitrogenadas e potássica e ao deficit hídrico**. (Tese) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 114 f. 2007.

NEILSEN, G. H.; NEILSEN, D.; TOIVONEN, P.; HERBERT, L. Annual bloom-time phosphorus fertigation affects soil phosphorus, apple tree

phosphorus nutrition, yield, and fruit quality. **HortScience**, v.43, p.885-890, 2008.

NEILSEN, G. H.; PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M.; NEILSEN, D. Development and correction of K-deficiency in drip irrigated apple. **Hortscience**, v.33, p.258-261, 1998.

NEILSEN, G. H.; PARCHOMCHUK, P.; NEILSEN, D.; ZEBARTH, B. J. Drip-fertigation of apples trees affects root distribution and the development of K deficiency. **Canadian Journal, Soil Science**, v.80, p.353-361, 2000.

OKE, M.; AHN, T.; SCHOFIELD, A.; PALIYATH, G. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on processing quality and functional food ingredients in tomato. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1531-1538, 2005.

PALIYATH, G.; SCHOFIELD, A.; OKE, M.; TAEHYUN, A. **Phosphorus fertilization and biosynthesis of functional food ingredients**. Bruulsema, ed. Fertilizing crops for functional foods. Symposium proceedings, Potash & Phosphate Institute/Potash & Phosphate Institute of Canada (PPI/PPIC), Indianapolis, p.1-6, 2002.

PASA, M. S.; KATSURAYAMA, J. M.; BRIGHENTI, A. F.; ARAÚJO FILHO, J. V.; BONETI, J. I. S. Desempenho de macieiras 'Imperial Gala' e 'Mishima Fuji' em diferentes porta-enxertos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.1, p.17-26, 2016.

PINTO, U. R. C. **Características produtivas de tomate cereja em função da aplicação de fósforo via solo e fertirrigação em cultivo protegido**. Dissertação de Mestrado em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, 61p., 2017.

RAESE, J. T. Response of apple and pear trrees to phosphate fertilization: A compendium. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, n.11-14, p.1799-1821, 1998.

ROBERTS, I.N.; CAPUTO, C.; CRIADO, M.V.; FUNK, C. Senescence associated proteases in plants. **Physiologia Plantarum**, v.145, n.1, p.130-139, 2012.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 98 p. 2002.

SCHMITT, D.E.; BRUNETTO, G.; SANTOS, E.; WAGNER, W.; SETE, P.B.; SOUZA, M.; AMBROSINI, V.G.; SANTOS, M.A.; TIECHER, T.; COMIN, J.J.; COUTO, R.R.; GATIBONI, L.C. & GIACHINI, A. Phosphorus fractions in apple orchards in southern Brazil. **Bragantia**, v.76, n.3, p.422-432, 2017.

SCHVEITZER, B.; SACHINI, R.; FENILI, C. L.; DE MARTIN, M. S.; PETRI, J. L. Teores Minerais em diferentes Cultivares de Maçãs nas Safras de 2016/17 e 2017/18. In. ZUFFO, A. M. (Org.) A produção do conhecimento nas ciências agrárias e ambientais. **Atena Editora**, v. 5, p. 114-124, 2019.

- SILVA, J. B. C. da.; GIORDANO, L. B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L. S.; FRANÇA, F. H.; BÔAS, G. L. V.; BRANCO, M. C.; MEDEIROS, M. A. de.; MAROUELLI, W.; SILVA, W. L. C.; LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C.; NASCIMENTO, W. M.; PEREIRAI, W. **Cultivo do tomate para industrialização**. Sistemas de Produção 1, Embrapa Hortaliças, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/plantio.htm>. Acesso em: 16 de abr. 2024.
- SOBRINHO, O. P. L. **Desenvolvimento, produtividade e qualidade de frutos de tomateiro submetido a doses e fontes de fósforo e lâminas de irrigação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 178 p., 2020.
- SOUZA, T.R.; SALOMÃO, L.C.; ANDRADE, T.F. de; VILLAS BÔAS, R.L.; GUAGGIO, J.A. Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.3, p.993- 1003, 2011.
- ŠTAMPAR, F.; BIZJAK, J.; VEBERIČ, R.; JAKOPIČ, J. Foliar application of phosphorus improves apple fruit color during ripening. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.4, p.1195-1200, 2015.
- STEFFENS, C.A.; GUARIENTI, A.J.W.; STORCK, L.; BRACKMANN, A. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Ciência Rural**, v.36, p.434-440, 2006.
- STOW, J.; DOVER, C. J.; GENGE, P. M. Control of ethylene biosynthesis and softening in 'Cox's Orange Pippin' apples during low-ethylene, low-oxygen storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.215-225, 2000.
- SUMAN M.; SANGMA P.D.; SINGH D. Role of micronutrients (Fe, Zn, B, Cu, Mg, Mn and Mo) in fruit crops. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.6, n.6, p.3240–3250, 2017.
- SUZUKI, A.; BASSO, C. Solos e Nutrição da macieira. IN: **A cultura da macieira**. Florianópolis, 743 p., 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre, Artmed Editora, 2017. 858p.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHMEN, H. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.
- TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K.; KOWALCZYK, W.; SAS, D.; WÓJCIK, K. Possibilities of using image analysis to estimate the nitrogen nutrition status of apple trees. **Zemdirbyste-Agriculture**, v.103, n.3, p.319-326, 2016.
- TOIVONEN, P.M.A.; LU, C.; & STOOCHNOFF, J. Postharvest quality implications of preharvest treatments applied to enhance Ambrosia™ apple red

blush color at harvest. **Canadian Journal of Plant Science**, v.99, p.40-49, 2019.

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. **Elaboração do PIGIRS da Região Serrana de SC, município de Correia Pinto**. Convênio CISAMA-E-AM/CAV/UDESC, 50 f, 2014.

VEBERIČ, R.; STAMPAR, F.; JAKOPIČ, J.; MIKULIC-PETKOVSEK, M.; SLATNAR, A.; BIZJAK, J. Measures for improving red color of 'Braeburn' apple fruits. **Acta Horticulturae**, v.1139, p.597-600, 2016.

VIEIRA, F. G. K.; BORGES, G. da S. C.; COPETTI, C.; AMBONI, R. D. de M. C.; DENARDI, F.; FETT, R. Physico-chemical and antioxidant properties of six apple cultivars (*Malus domestica* Borkh) grown in southern Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 421-425, 2009.

WANG, G-Y.; ZHANG, X-Z.; WANG, Y.; XU, Z-F.; HAN, Z-H. Key minerals influencing apple quality in Chinese orchard identified by nutritional diagnosis of leaf and soil analysis. **Journal of Integrative Agriculture**, v.14, n.5, p.864-874, 2015.

WEBSTER, D. H.; LIDSTER, P. D. Effects of phosphate sprays on McIntosh apple fruit and leaf composition, flesh firmness and susceptibility to low-temperature disorders. **Canadian Journal of Plant Science**, v.66, p.617-626. 1986.

ZHU, B.; LU, Y.Q.; ZHANG, X.Z.; WANG, Y.; LIU, H.P.; HAN, Z.H. Reduced late-season leaf potassium and phosphorus levels influence decreases in sugar contents of aged apple fruit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.36, p.1577-1584, 2014.